



UNIVERSITÀ DI PISA

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE E TECNOLOGIE PER L'AMBIENTE

TESI DI LAUREA

Le colture arboree da frutto per la mitigazione dell'effetto serra: potenzialità di uso
dei residui di potatura

Candidato

Francesco IANDOLO

Relatore

Prof. Rossano MASSAI

Controrelatore

Prof. Marco MAZZONCINI

Anno Accademico 2007/2008

SOMMARIO

INTRODUZIONE	5
MOTIVAZIONI	7
IL SOSTEGNO POLITICO	8
Protocollo di Kyoto	9
Lo scenario italiano	11
L'EFFETTO SERRA, L'AGRICOLTURA E LA BIOMASSA	13
L'EFFETTO SERRA	14
L'UOMO E L'AGRICOLTURA	17
IL RUOLO DEL FRUTTETO E DELLA SOSTANZA ORGANICA COME "SINK" DI CARBONIO	19
FISSAZIONE DELLA CO ₂ NELLE ARBOREE DA FRUTTO	20
Il frutteto	22
Valori di fissazione della CO ₂ in diverse specie arboree da frutto	23
L'importanza della forma di allevamento	26
LA SOSTANZA ORGANICA	28
Caratteristiche della sostanza organica	28
L'influenza della sostanza organica sulle proprietà del suolo	29
Il ruolo della sostanza organica nella fissazione dell'anidride carbonica	30
LE BIOMASSE	32
DEFINIZIONE DI BIOMASSA	33
VANTAGGI DELL'USO DELLE BIOMASSE	34
FONTI APPROVVIGIONAMENTO	36
POTENZIALE DELLE BIOMASSE	38
Colture energetiche erbacee dedicate	38
Colture energetiche arboree dedicate	39
Biomasse di origine forestale	40
Residui agro-industriali	40
Biomasse da agricoltura	41
Paglie dei cereali autunno vernini	42
Stocchi, tutoli e brattee di mais	43
Paglia di riso	43
Sottoprodotti delle colture arboree da frutto	43
PARAMETRI DI QUALITA' DELLA BIOMASSA	45
Potere calorifico inferiore	45
STATI DELLA BIOMASSA E LORO CARATTERISTICHE	47
Le biomasse allo stato solido	47

Legna da ardere	47
Cippato	48
Pellet	48
Le biomasse combustibili allo stato liquido	48
Oli vegetali	48
Biodiesel	49
Bioetanolo	49
Le biomasse combustibili allo stato gassoso	49
Biogas	49
RACCOLTA DELLE BIOMASSE	50
Macchinari utilizzati per la raccolta	50
Le imballatrici	50
Le trincia caricatrici	53
Le cippatrici	56
Le falciatrici	57
LE PROPRIETA' DEI RESIDUI DI POTATURA	59
LA GESTIONE DEI RESIDUI DI POTATURA	63
Raccolta e bruciatura a bordo campo	63
Trinciatura in campo e interrimento	64
L'inerbimento	66
parzialmente inerbito	66
totalmente inerbito	66
temporaneamente inerbito	67
permanentemente inerbito	67
Vantaggi nell'applicazione dell'inerbimento	68
Svantaggi nell'applicazione dell'inerbimento	69
Inerbimento e sostanza organica	70
Compost di qualità	72
Materiale usato per formare il compost	72
Tipi di compost e loro impiego	73
Il compostaggio	75
I vantaggi dell'uso di compost	77
Sistemi di compostaggio	78
Raccolta e utilizzazione energetica	79
Processi di trasformazione delle biomasse a fini energetici	79
Processi termochimici	80
Combustione diretta	80

Carbonizzazione	80
Gassificazione	80
Pirolisi	81
Processi biochimici	81
Digestione aerobica	81
Digestione anaerobica	81
Fermentazione alcolica	82
Estrazione meccanica	82
ANALISI E POTENZIALITA' D'USO DEI RESIDUI DI POTATURA	83
IPOTESI DI FILIERA AGRICOLA PER LA CATTURA DELL'ANIDRIDE CARBONICA	84
Bruciatura a bordo campo	86
Trinciatura	88
Trinciatura e interrimento senza inerbimento	88
Trinciatura con inerbimento senza interrimento	90
Compost di qualità	92
Trasformazione a fini energetici	95
Conclusioni	97
Bibliografia	101
Siti web (sitografia)	106

INTRODUZIONE

L'effetto serra è un fenomeno senza il quale la vita sulla terra non potrebbe esistere. Questo processo, infatti, consiste nel riscaldamento del pianeta per la presenza dei cosiddetti gas-serra. Tali gas si trovano nell'atmosfera a concentrazioni relativamente basse.

Tra questi ci sono l'anidride carbonica (CO_2), il metano (CH_4), il protossido di azoto (N_2O), l'ozono (O_3), il vapor acqueo. Essi fanno sì che le radiazioni solari passino attraverso l'atmosfera, mentre ostacolano il passaggio verso lo spazio di parte delle radiazioni infrarosse provenienti dalla superficie della Terra e dalla bassa atmosfera.

In pratica, questi gas agiscono proprio come i vetri di una serra, da cui ne deriva il nome, che fanno passare la luce solare trattenendo il calore; questo fa sì che la temperatura media della Terra sia molto maggiore di quella che si stabilirebbe in assenza di atmosfera.

Nel caso dell'inquinamento atmosferico del nostro pianeta, ciò che non è naturale consiste in un eccesso in quantità e qualità dei gas serra che costituiscono parte dell'atmosfera.

I gas-serra artificiali, quelli cioè che non esistevano fino a circa la metà del ventesimo secolo (clorofluorocarburi (CFC), perfluorocarburi (PFC), l'esafioruro di zolfo (SF_6)) permangono lungamente nell'atmosfera, influenzando il clima per i secoli futuri.

Nell'ultimo secolo l'aumento della temperatura media globale, secondo le più recenti valutazioni di IPCC, è stato di $0,65^\circ \text{C}$ (con un errore di $\pm 0,2^\circ \text{C}$).

L'innalzamento della temperatura comporta un corrispondente aumento della quantità d'acqua presente in atmosfera e quindi delle precipitazioni.

Nello stesso tempo, in molte aree tropicali, si sono verificati fenomeni di siccità, con conseguente aumento delle aree desertiche.

Inoltre, il riscaldamento globale porta ad una complessiva diminuzione delle superfici glaciali.

Tutti questi effetti potrebbero continuare ad aumentare nel caso in cui le concentrazioni dei gas-serra non diminuissero.

La crescente attenzione internazionale, sul tema del cambiamento climatico, ha portato l'WMO (World Meteorological Organization) e l'UNEP (United Nations Environment Program,) alla creazione, negli anni '80, di un gruppo intergovernativo sul cambiamento del clima (IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change).

Questo gruppo è nato per valutare le informazioni disponibili in numerosi campi di studio e quindi, dedurre i futuri scenari climatici e le migliori opzioni di mitigazione ed adattamento.

Il momento della svolta per la politica sui cambiamenti climatici si è avuto nel 1997 a Kyoto, con l'introduzione del cosiddetto Protocollo di Kyoto.

Con questo Protocollo, infatti, i paesi industrializzati si impegnano a ridurre, per il periodo 2008–2012, il totale delle emissioni di gas ad effetto serra almeno del 5% rispetto ai livelli del 1990.

Tale Protocollo, entrerà in vigore il novantesimo giorno successivo alla data in cui almeno 55 Partners della Convenzione, tra le quali i paesi sviluppati le cui emissioni totali di biossido di carbonio rappresentano almeno il 55% della quantità totale emessa nel 1990 da questo gruppo di paesi, lo abbiano ratificato.

Parallelamente, i Partners della Convenzione sui Cambiamenti Climatici continueranno ad adempiere agli impegni assunti a norma della Convenzione e si prepareranno per la futura applicazione del Protocollo.

Se aumenta la concentrazione atmosferica di anidride carbonica tendono ad aumentare anche gli assorbimenti di anidride carbonica sia da parte della superficie terrestre, sia da parte del mare e degli oceani.

Questi assorbimenti vengono effettuati da processi in grado di sottrarre o rimuovere uno o più gas-serra dall'atmosfera e prendono il nome di sink.

Per ridurre le emissioni di gas-serra, il Protocollo di Kyoto permette ai paesi industrializzati di fare uso di tali assorbitori; che per quanto riguarda i suoli e gli ecosistemi terrestri, corrispondono a foreste e suoli agricoli.

A questi, il Protocollo, riconosce un'importante ruolo nelle strategie di mitigazione dei cambiamenti climatici attraverso tre diverse tipologie di azioni:

- Creazione di nuove foreste
- Gestione appropriata delle foreste esistenti e dei suoli agricoli
- Uso di biomasse per la produzione di energia rinnovabile.

Questa tesi discute nello specifico l'analisi della produzione di biomassa da residui di potatura delle principali specie arboree, da frutto, vite, olivo, con lo scopo di mitigare l'effetto serra.

In particolare vengono prese in considerazione le diverse tipologie di utilizzo delle biomasse: bruciatura fuori campo, trinciatura e interrimento, raccolta e trasformazione energetica, produzione di compost, ai fini della definizione del bilancio energetico in funzione delle macchine e dei cantieri di lavoro utilizzati nelle diverse strategie di trattamento delle biomasse.

Per le diverse tipologie vengono prese in considerazione le principali tecniche di valorizzazione energetica dei residui legnosi.

MOTIVAZIONI

IL SOSTEGNO POLITICO

Negli ultimi anni istituzioni e governi hanno espresso preoccupazione e sollecitato interventi tempestivi per la riduzione sostanziale delle emissioni in atmosfera dei gas serra.

Secondo l'IPCC a parità di radiazione solare incidente, l'aumento delle emissioni di gas serra e degli aerosol in atmosfera e l'alterazione delle caratteristiche della superficie terrestre, causate dalle attività umane, stanno modificando il bilancio energetico del sistema climatico.

A questo riguardo, dalle conclusioni del 4° Rapporto di valutazione pubblicato dall'IPCC nel 2007, si deduce che (ENEA, 2007):

- la concentrazione globale in atmosfera dei gas serra, anidride carbonica (CO₂), metano e ossido di azoto tra i principali, è notevolmente aumentata dal 1750 e attualmente supera del 35% i valori pre-industriali;
- cresce l'evidenza riguardo all'effetto determinato dal fattore umano sulle cause del riscaldamento globale;
- il riscaldamento del sistema climatico è inequivocabile, come si evince dalle osservazioni delle temperature globali dell'aria e delle temperature degli oceani, dello scioglimento diffuso di neve e ghiaccio e dell'innalzamento globale del livello del mare;
- il più recente trend lineare per 100 anni (1906-2005) è di 0,74 °C/secolo. Il trend lineare di riscaldamento degli ultimi 50 anni (0,13 °C per decade) è quasi il doppio di quello globale degli ultimi 100 anni;
- il livello medio globale dei mari è cresciuto ad un tasso medio di 1,8 mm per anno dal 1961 al 2003. Il tasso di crescita è stato più veloce durante il periodo 1993-2003, con circa 3,1 mm/anno;
- cresce l'evidenza della progressiva riduzione dell'estensione di ghiaccio del Polo Nord e delle sue cause. L'immissione di acqua dolce proveniente dallo scioglimento dei ghiacciai comporta un indebolimento dei complessi meccanismi che sono alla base del trasporto del calore attraverso le correnti marine dall'Equatore alle alte latitudini.

Protocollo di Kyoto

In questo contesto, la Conferenza di Kyoto del 1997 ha rappresentato un momento di svolta, avendo delineato obiettivi mirati alla riduzione dell'impatto ambientale dei sistemi di conversione dell'energia. Tali obiettivi, sebbene non ancora ratificati dalla maggior parte dei Paesi, hanno portato ad un incremento di iniziative in tutto il mondo.

Tutti i Paesi partecipanti sono ricorsi ad un massiccio uso delle fonti di energia rinnovabile al fine di contenere l'inquinamento da CO₂.

Per l'UE è stato individuato l'obiettivo di ridurre entro il 2010 le emissioni di CO₂ del 15% rispetto ai valori del 1990. Per l'Italia l'obiettivo di ridurre tali emissioni è del 6,5% (ANPA, 2001).

Tra le fonti di energia rinnovabile, un ruolo di primaria importanza viene assegnato alla biomassa, che rappresenta una delle risorse energetiche più interessanti, nonostante le molteplici difficoltà di impiego dovute all'ampiezza e all'articolazione delle fasi che costituiscono le singole filiere.

Diversi sono infatti, i programmi europei che hanno individuato obiettivi e impegni in campo energetico, indirizzati verso scenari legati alle diffusioni delle energie rinnovabili e al risparmio energetico in tutti i settori, anche al fine di rispettare gli obiettivi internazionali fissati a Kyoto (MATTM, 1997 e 2002).

Tra questi citiamo:

- ✚ una comunicazione sul tema «La dimensione energetica del cambiamento climatico», inviata dalla Commissione Europea al Comitato Economico e Sociale e contemporaneamente al Consiglio, al Parlamento Europeo e al Comitato delle Regioni.

Tale comunicazione si fonda sulla Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sul cambiamento climatico di Rio de Janeiro del 1992, cui la Comunità europea e gli Stati membri hanno allora aderito. Nel dicembre 1997 i firmatari tennero a Kyoto la terza Conferenza per l'attuazione della convenzione. Questa, inoltre, riflette nel contenuto la posizione che il Consiglio dell'Unione Europea ha elaborato il 3 marzo 1997 per tale conferenza, soprattutto al fine di rafforzare l'impegno dei paesi industrializzati a favore di una riduzione progressiva delle emissioni di CO₂ e di altri gas ad «effetto serra».

- ✚ Il “*Libro Verde sulle Energie Rinnovabili*” approvato nel 1997 dalla Commissione Europea che individua come obbiettivo la produzione di energie da fonti rinnovabili pari all'8% dell'energia primaria consumata entro il 2005 e pari al 12% entro il 2010.

Nel settore trasporti il Libro Verde richiede l'impegno specifico di passare ad un utilizzo complessivo di biocarburante pari al 7% nel 2010, rispetto all'attuale 0,15%.

Mentre il Libro Verde “*Verso una strategia europea di sicurezza dell'approvvigionamento energetico*” orienta l'azione degli Stati Membri dell'Unione Europea all'individuazione, sviluppo e diffusione dell'uso di fonti di energia alternativa alla benzina e al gasolio, esso pone inoltre, come obiettivo per il trasporto e il riscaldamento, di sostituire entro l'anno 2020 il 20% dei carburanti classici con carburanti alternativi (biocarburante, gas naturale e idrogeno).

- ✚ Il “*Libro Bianco Europeo sulle Energie Rinnovabili*” 1997 prevede che l'utilizzo della biomassa potrà consentire, entro il 2010, un risparmio di combustibili fossili di almeno 45 Mtep/anno, di cui i 2/3 attraverso il recupero di residui e sottoprodotti forestali, agricoli e dell'industria del legno, ed 1/3 da colture dedicate.

L'uso principale è l'alimentazione di impianti decentralizzati per la produzione di elettricità e calore (20 GWe e 60 GWt, con risparmi di 27 Mtep/anno).

In altri termini si prevede di raggiungere, la quota minima del 12% di fonti da energia rinnovabile, oggi pari al 6% dei consumi energetici totali dell'UE.

Tali fonti possono aiutare a ridurre la dipendenza alle importazioni e aumentare la sicurezza dei rifornimenti. Effetti positivi sono riconducibili anche in termini di emissioni di CO₂ e di creazioni di nuovi posti di lavoro.

✚ *La Direttiva 2001/77/CE "Elettricità verde"*. L'approvazione di questa Direttiva da parte del Parlamento Europeo e del Consiglio, in data 27 settembre 2001, rappresenta un passaggio assai rilevante. A differenza del libro verde e del libro bianco, che contengono orientamenti ed indirizzi non vincolanti per i paesi membri, la Direttiva assume valenza di Legge ed impone precisi obblighi agli Stati dell'Unione.

✚ *Il Piano di azione per la biomassa*. Rappresenta l'ultimo atto dell'Unione Europea per la promozione delle energie da biomassa, approvato dalla Commissione Europea il 7 Dicembre 2005. Il documento, rappresenta un aggiornamento dei precedenti documenti in materia ed introduce alcune rilevanti novità:

- il piano indica agli stati membri un obiettivo di produzione di energia da biomasse più che doppio rispetto all'attuale. Infatti il piano si propone di passare entro il 2010 dai 69 Milioni di Tonnellate equivalenti di petrolio (Tep) del 2003 a 150 Milioni di Tep.
- Il piano indica con chiarezza la necessità di promuovere azioni rivolte all'uso delle biomasse per tutti i settori di consumo dell'energia: trasporti, elettricità, calore.
- Il piano affronta il tema della sostenibilità della produzione energetica da biomasse, prevedendo, seppure in termini generali, l'emanazione di norme che regolino il rapporto tra materie prime importate e di provenienza locale.
- Infine si prevede l'emanazione di norme vincolanti per gli stati, in materia di quote di bio-carburanti da immettere al consumo.

L'obiettivo generale dell'Unione Europea richiede un maggiore sostegno dagli Stati membri, che devono promuovere un più ampio uso di fonti da energia rinnovabile, e devono impegnarsi a:

- aumentare l'utilizzo del potenziale disponibile;
- aiutare a diminuire le emissioni di CO₂;
- ridurre la dipendenza energetica;
- sviluppare l'industria nazionale;
- creare lavoro.

Per raggiungere tali obiettivi il Libro Bianco sulle energie rinnovabili propone una *Campagna di Avvio* con lo scopo di dare una spinta ai progetti del settore dell'energia rinnovabile.

Varie azioni saranno promosse durante la campagna, tra queste ci sono:

- ✓ installazione di 1 milione di sistemi fotovoltaici nel settore dell'energia solare;
- ✓ 10.000 MW da aerogeneratori nel settore dell'energia eolica;
- ✓ 10.000 MW da impianti di produzione combinata di calore ed elettricità e di biomassa, impianti di biogas e da biocombustibili liquidi nel settore delle biomasse;
- ✓ Realizzazione di 100 progetti sperimentali per comunità, città, regioni, basati sull'utilizzo integrato di fonti rinnovabili.

Il Parlamento Europeo: sostiene con vigore la «campagna per il decollo» prevista dal Libro bianco sulle energie rinnovabili e sottolinea l'importanza degli obiettivi quantificati in tale sede.

La promozione di tali energie, tra cui combustibili legnosi, è dunque considerata una strategia chiave per il raggiungimento degli obiettivi proposti dal protocollo di Kyoto.

Lo scenario italiano

L'Italia è fortemente dipendente dall'estero per il suo fabbisogno energetico. Oltre l'80% delle materie prime energetiche ed il 15% dell'elettricità utilizzata è importato.

Questa situazione rende il Paese molto vulnerabile rispetto alle continue oscillazioni del prezzo dei combustibili fossili.

Per ovviare a questo problema è necessario riconvertire l'agricoltura nazionale verso produzioni non eccessive ed allo stesso tempo promuovere fonti integrative di reddito, soprattutto nelle zone più svantaggiate.

In Italia, nel passato, sia per la complessità della tematica che per un insufficiente interesse da parte del mondo imprenditoriale, non è stato mai lanciato un piano nazionale sulle biomasse.

L'ultimo Piano Energetico Nazionale (PEN), approvato nel 1988, si limita a prospettare un contributo delle biomasse al bilancio energetico pari a 2,5 Mtep al 2000.

L'elaborazione del Programma Nazionale Energia Rinnovabile da Biomasse - PNERB (giugno 1998) - da parte del Ministero per le Politiche Agricole e Forestali è stata una delle prime conseguenze della nuova sensibilità verso le problematiche oggetto della Conferenza di Kyoto.

Successivamente, un passo fondamentale è stata la Conferenza Nazionale Energia ed Ambiente (CNEA), tenutasi a Roma nel novembre 1998 con l'intento di impostare una politica chiara sul tema del rapporto tra Energia e Ambiente.

Le linee guida per la valorizzazione delle energie da fonti rinnovabili sono il risultato di un percorso che è passato anche attraverso la presentazione del *Libro Verde per la Valorizzazione Energetica*

delle Fonti Rinnovabili (novembre 1998) nel quale venivano stimate le potenzialità e i contributi ottenibili in Italia dalle fonti rinnovabili.

A questo documento ha fatto seguito *Il Libro Bianco per la Valorizzazione Energetica delle Fonti Rinnovabili* (giugno 1999), che affronta una valutazione critica delle problematiche trattate nel Libro Verde, attraverso il confronto tra soggetti ed Istituzioni pubbliche o private dei vari settori interessati.

Il Libro Bianco offre un preciso riferimento a tutti gli operatori dell'impresa e della ricerca che volessero valutare l'opportunità e l'importanza di contribuire alle filiere produttive prese in considerazione dal documento.

All'interno dello scenario energetico nazionale, il recupero energetico rappresenta un tema di fondamentale importanza ed interesse soprattutto per quanto riguarda la necessità di rispettare gli obiettivi di emissione dei gas serra previsti dal Protocollo di Kyoto e il crescente fabbisogno energetico.

Gli impegni che l'Italia dovrà rispettare, in relazione a quanto sottoscritto dalla Comunità nell'ambito del protocollo di Kyoto, pongono seri e urgenti problemi in tema di utilizzo di fonti rinnovabili quale mezzo per produrre energia.

In questo contesto, nazionale e internazionale, appaiono evidenti le motivazioni del crescente interesse riservato alle biomasse quale risposta concreta, in materia di approvvigionamento energetico, alle esigenze del Paese (MATTM, 1997 e 2002).

L'EFFETTO SERRA, L'AGRICOLTURA E LA BIOMASSA

L'EFFETTO SERRA

Il clima del nostro pianeta nel corso della sua storia geologica ha subito notevoli cambiamenti in conseguenza di fattori naturali, quali la variazione periodica dei parametri orbitali e dell'attività solare, lo sviluppo di calotte polari, la migrazione dei continenti e le variazioni della composizione dell'atmosfera. Il clima ha sempre esercitato una notevole influenza sulle attività umane, ma questa condizione sta cambiando rapidamente.

L'influenza dell'uomo sul clima avviene attraverso l'alterazione di complessi processi di interazione fra radiazione solare, atmosfera, idrosfera e biosfera, che regolano l'andamento naturale del clima. Le principali perturbazioni indotte dall'uomo riguardano la variazione della composizione dell'atmosfera, in particolare l'immissione di "gas ad effetto serra" e di particelle di aerosol, oltre che l'alterazione delle caratteristiche del suolo dovute all'agricoltura, alla deforestazione e all'uso e i cambiamenti apportati allo stesso. Questi mutamenti influenzano gli equilibri naturali e quindi anche la temperatura del pianeta (IPCC, 2007).

Il continuo peggioramento della qualità dell'ambiente, legato alla sempre crescente domanda energetica che non può essere soddisfatta dalle tradizionali tecnologie che sfruttano i combustibili fossili senza aumentare fortemente la pressione sull'ambiente e sulla salute dell'uomo, implicano, nell'ottica di uno sviluppo equilibrato e sostenibile, che un ruolo di primaria importanza sia attribuito allo sfruttamento di fonti di energia pulita, sicura e rinnovabile.

L'utilizzo indiscriminato dei combustibili fossili è tra le principali cause del fenomeno delle piogge acide, che sta provocando la morte di migliaia di ettari di foreste boreali. Inoltre, questo contribuisce in modo sostanziale all'effetto serra, causato soprattutto dall'aumento della concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera.

In particolare, come possiamo notare dalla *Figura 1*, nel XIX secolo i contenuti di anidride carbonica e metano erano rispettivamente di 277 ppm e di 715 ppb, mentre l'attuale contenuto di anidride carbonica è di 380 ppm, con un incremento del 35% rispetto al XIX secolo. Il contenuto di metano è di 1780 ppb, cioè del 130% in più rispetto al XIX secolo.

Nel periodo pre-industriale i contenuti di CO₂ e CH₄ erano simili a quelli misurati nelle fasi geologiche calde (Interglaciali). Negli ultimi 650.000 anni la concentrazione di CO₂ è variata da un minimo di circa 180 ppm nelle fasi più fredde (Glaciali, con temperature inferiori alle attuali di 10-15 °C) a un massimo di 300 ppm in quelle più calde (anche con temperature superiori alle attuali di 2-3 °C). Analogamente il metano è variato da 350 ppb a 775 ppb.

L'incremento antropico osservato negli ultimi 200 anni è simile a quello rilevato nei dati paleoclimatici fra un glaciale ed un interglaciale per l'anidride carbonica (100 ppm) e nettamente superiore (1000 ppb) per il metano. Accanto all'aumento di anidride carbonica e metano negli

ultimi 200 anni, si è registrata una crescita del 18% nella concentrazione di protossido di azoto. Le concentrazioni attuali di anidride carbonica e metano in atmosfera sono le più alte mai registrate negli ultimi 820.000 anni e stanno crescendo con velocità eccezionali, cento volte superiori a quelle dell'epoca pre-industriale (ENEA, 2006).

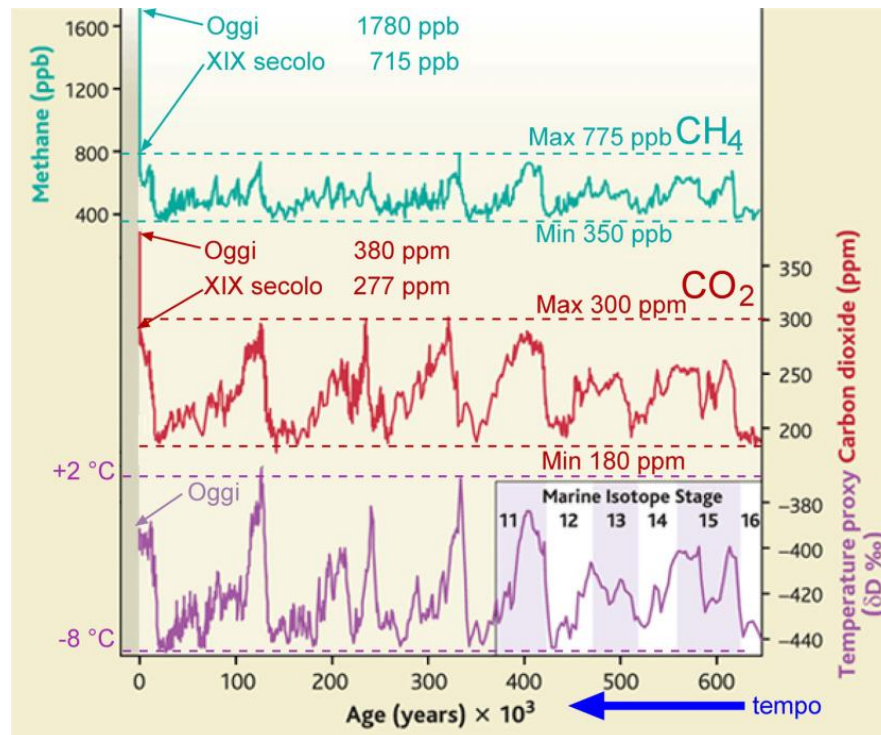


Figura 1 – Rappresentazione dell'andamento dei gas ad effetto serra (CH_4 , CO_2) e del deuterio (δD , rappresentativo della temperatura dell'aria) nella carota di ghiaccio di EPICA (European Project for Ice Coring in Antarctica) negli ultimi 650.000 anni. L'età geologica aumenta da sinistra (periodo odierno) verso destra (periodi più antichi).

I gas naturali presenti nell'atmosfera e responsabili dell'effetto serra sono principalmente biossido di carbonio e vapore acqueo, l'uomo però tende ad aumentare questo tipo di effetto liberando nell'atmosfera grandi quantità di CO_2 , clorofluorocarburi, ossido di azoto, metano ed altri gas. Negli anni, l'aumento dell'anidride carbonica (Figura 2) è stato causato soprattutto dalla combustione di petrolio, gas naturali, carbone e foreste, inoltre con la deforestazione questo fenomeno è venuto ad accentuarsi per la riduzione della quantità totale di carbonio fissato dalla fotosintesi (Schlesinger e Lichter, 2001).

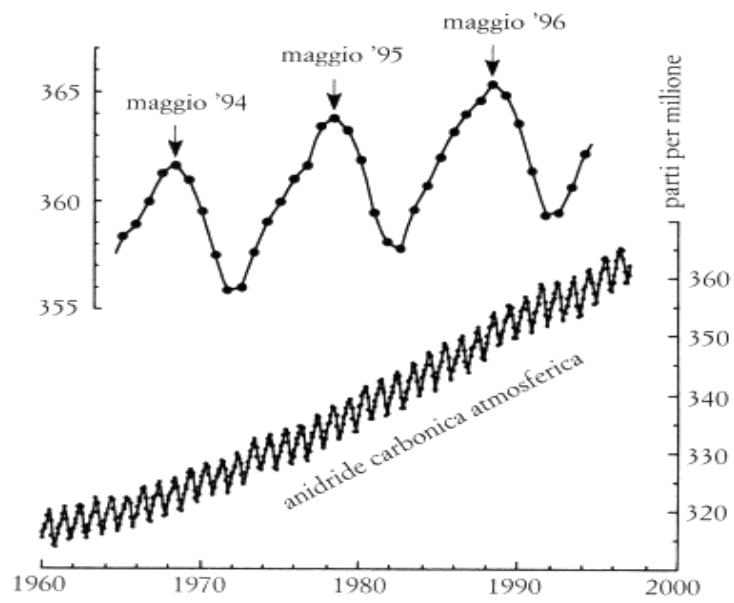


Figura 2 – Aumento della concentrazione di CO₂ atmosferica e sue oscillazioni.
Registrazioni effettuate presso la stazione climatica di Mauna Loa nelle Hawaii.
(Volk, 2001).

L'UOMO E L'AGRICOLTURA

Ogni anno circa 3,2 Gt di anidride carbonica sono rilasciate nell'atmosfera (Lal, 1997).

I danni causati dall'effetto serra non sono attribuibili soltanto all'aumento della concentrazione dei gas serra dal momento che le variazioni climatiche a lungo termine hanno sempre interessato il nostro pianeta e quindi potrebbero avere un ruolo non trascurabile (Sofa et al., 2004).

Se l'uomo continuerà ad immettere nell'atmosfera una quantità sempre maggiore di CO₂, molto probabilmente la terra continuerà a riscaldarsi da 2 a 8°C durante questo secolo (Strong, 1989).

Altre cause di aumento della CO₂ sono l'utilizzo scorretto di particolari pratiche agricole, quali lavorazioni frequenti e/o profonde del terreno, assenza di copertura vegetale soprattutto nelle stagioni calde, bruciatura dei residui colturali, semplificazione degli agro-ecosistemi, agricoltura intensiva, erosione del suolo, etc., oltre all'urbanizzazione e alla desertificazione.

In particolare l'incendio delle foreste per far posto ai terreni da coltivare, favorisce una grande produzione di monossido di carbonio e ossido nitrico che, liberati nell'atmosfera, ne alterano l'equilibrio chimico (ENEA, 2006).

L'agricoltura ha un ruolo chiave nell'emissione e nella fissazione della CO₂ ed è responsabile di 1/5 delle emissioni antropiche annuali di gas serra (IPCC, 1995).

Per diminuire le emissioni atmosferiche di anidride carbonica è necessario ridurre i consumi annui di combustibili fossili sostituendoli possibilmente con fonti di energia rinnovabile quali: energia idrica, solare, eolica, da biomasse legnose forestali e derivanti da residui agricoli, industriali ed urbani.

Inoltre è molto importante ridurre e poi bloccare il ritmo di deforestazione che porta alla eliminazione della fotosintesi, sistema più efficiente in nostro possesso per la fissazione della CO₂. Tuttavia il controllo delle emissioni di CO₂ da parte delle biomasse sarebbe indiretto, per esempio attraverso il controllo dei livelli di humus che ha la capacità di immobilizzare il carbonio atmosferico (Sofa et al., 2004).

Con l'aumento della agricoltura intensiva e quindi con l'uso di lavorazioni del suolo, irrigazioni e uso di concimi minerali, la quantità di humus prodotta è sempre inferiore a quella che viene a formarsi, questo porta ad avere un suolo che va trasformandosi da piccolo serbatoio naturale a grande sorgente di CO₂.

In Italia, un programma volto ad elevare dell'1% la quantità di humus nell'arco di 12 anni permetterebbe un'immobilizzazione di 114 Mt CO₂/anno. Su scala mondiale, un aumento di 2 t/ha di humus permetterebbe l'immobilizzazione di circa $7,1 \times 10^3$ Mt CO₂/anno, una cifra irrisoria rispetto alla riserva atmosferica, ma rilevante se confrontata con il suo incremento annuale (Zucconi, 1999).

I suoli mondiali costituiscono un ingente serbatoio di carbonio organico (*Tabella 1*) e i residui sono la maggiore risorsa rinnovabile, capaci di avere un impatto considerevole sul ciclo del carbonio; infatti, se il 15% del carbonio contenuto nei residui colturali mondiali potesse essere convertito in carbonio organico del suolo (SOC), porterebbe al sequestro di $7,32 \times 10^2$ Mt CO₂/anno (Lal, 1997). Successivamente ripristinando i suoli attualmente degradati nel mondo, corrispondenti ad una superficie di circa 2×10^9 ha e aumentando il contenuto in SOC dello 0,01%, si consentirebbe l'immobilizzazione di $10,98 \times 10^3$ Mt CO₂/anno, praticamente più di tre volte l'incremento annuale di CO₂ nell'atmosfera (Lal, 1997).

SERBATOIO	Gt DI CARBONIO
CARBONIO STABILE	
Carbonati sedimentari	50×10^6
Combustibili fossili	20×10^6
CARBONIO LIBERO	
Idrosfera	39×10^3
Pedosfera	$1,55 \times 10^3$
Atmosfera	$0,75 \times 10^3$
Biosfera:	
piante e funghi	$0,43 \times 10^3$
animali, protozoi e batteri	$0,12 \times 10^3$

Tabella 1 - *Le riserve di carbonio della Terra. (Sofo et al., 2004).*

In Italia invece, la continua diminuzione dello 0,1% di SOC dei suoli agricoli nazionali, che corrispondono a 15×10^6 ha, provocherebbe il rilascio in atmosfera di $2,75 \times 10^2$ Mt CO₂/anno, ovvero più della metà delle emissioni annue totali di CO₂, che in Italia ammontano a $4,29 \times 10^2$ Mt CO₂/anno (Sequi, 1999).

Questi dati quindi, rivelano l'importanza della sostanza organica del terreno nella regolazione della concentrazione di CO₂ atmosferico e l'utilità di una sua restituzione ai suoli.

IL RUOLO DEL FRUTTETO E DELLA SOSTANZA ORGANICA COME “SINK” DI CARBONIO

FISSAZIONE DELLA CO₂ NELLE ARBOREE DA FRUTTO

Alla luce dei fatti precedentemente elencati, emerge la necessità di limitare l'immissione di gas serra nell'atmosfera e di promuovere la fissazione della CO₂, specialmente da parte degli ecosistemi agroforestali. Essi infatti sono in grado di immagazzinare una grande quantità di anidride carbonica, in ragione dell'elevata quantità di fitomassa vivente totale a livello mondiale, pari a circa $1,243 \times 10^9$ t (Kimmins, 1997). Per questo motivo, una gestione mirata del patrimonio agroforestale esistente, può contribuire a mitigare il rilascio di CO₂ nell'atmosfera. Inoltre, le piante arboree da frutto pluriennali effettuano maggior intrappolamento di CO₂ rispetto alle specie annuali nonostante quest'ultime occupino maggior superficie sul totale mondiale. Questo è dovuto al fatto che le specie pluriennali sono caratterizzate da maggior fitomassa vivente rispetto alle altre che si rinnovano ogni anno.

Questo risultato è molto importante in ragione del fatto che in genere le superfici per la coltivazione delle piante arboree da frutto, sono a livello locale, più vicine a zone in cui si produce grandi quantità di CO₂, come avviene per le industrie.

Tipo di Ecosistema	superficie	PPN	produzione totale mondiale	fitomassa vivente	fitomassa vivente totale mondiale
	10^{12} m^2	$\text{g m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$	10^9 tonn	Kg m^{-2}	10^9 tonn
<i>1. Foreste</i>	31.3		48.68		950.50
tropicale umida	10.0	2.300	23.00	42.00	420.00
tropicale stagionale	4.5	1.600	7.20	25.00	112.50
mangrovie	0.3	1.000	0.30	30.00	9.00
temperate sempreverdi di conifere	3.0	1.500	4.50	30.00	90.00
temperate decidue miste	3.0	1.300	3.90	28.00	84.00
boreali di conifere (chiuse)	6.5	850	5.53	25.00	162.50
boreali di conifere (aperte)	2.5	650	1.63	17.00	42.50
rimboschimenti	1.5	1.750	2.62	20.00	30.00
<i>2. Boschi temperati</i>	2.0	1.500	3.00	18.00	36.00
<i>3. Chaparral macchi. arbusteti</i>	2.5	800	2.00	7.00	17.50
<i>4. Savana</i>	22.5		39.35		145.70
con alberi bassi e arbusti	6.0	2.100	12.60	7.50	45.00
dominata da graminacee	6.0	2.300	13.80	2.20	13.20
foresta spinosa/savana-secca	3.5	1.300	4.55	15.00	52.50
arbusteto spinoso secco	7.0	1.200	8.40	5.00	35.00
<i>5. Praterie temperate</i>	12.5		9.75		20.25
praterie umide	5.0	1.200	6.00	2.10	10.50
praterie secche	7.5	500	3.75	1.30	9.75
<i>6. Tundra artico alpina</i>	9.5	223	2.12	1.40	13.05
<i>7. Arbusteti-semideserti e deserti</i>	21.0		3.00		16.50
arbusteti dominati	9.0	200	1.80	1.10	9.90
arbusteto degradato irrevers.	12.0	100	1.20	0.55	6.60
<i>8. Deserti estremi</i>	9.0		0.13		0.78
sabbiosi caldi e secchi	8.0	10	0.08	0.06	0.48
sabbiosi freddi e secchi	1.0	50	0.05	0.30	0.30
<i>9. Ghiacci perenni</i>	15.5	0	0.00	0.00	0.00
<i>10. Laghi e corsi d'acqua</i>	2.0	400	0.80	0.02	0.04
<i>11. Paludi e acquitrini</i>	2.0		7.25		26.25
temperati	0.5	2.500	1.25	7.50	3.75
tropicali	1.5	4.000	6.00	15.00	22.50
<i>12. Torbiere</i>	1.5	1.000	1.50	5.00	7.50
<i>13. Terre coltivate</i>	16.0		15.05		6.64
coltivazioni temperate annuali	6.0	1.200	7.20	0.10	0.60
coltivazioni temperate pluriennali	0.5	1.500	0.75	5.00	2.50
coltivazioni tropicali annuali	9.0	700	6.30	0.06	0.54
coltivazioni tropicali pluriennali	0.5	1.600	0.80	6.00	3.00
<i>14. Aree urbane</i>	2.0	500	0.40	4.00	3.20
TOTALE	149.3	895	133.00	375.00	1.243.90

Tabella 2 – Ecosistemi e loro produzione. (Kimmins, 1997).

Il frutteto

Differenti studi hanno dimostrato che il sistema frutteto svolge nel complesso una forte azione sequestrante del carbonio atmosferico e la sua gestione soprattutto del suolo, deve esaltarne le potenzialità (Celano et al, 2002; Sofo et al., 2004 e 2005).

In un frutteto, la produzione primaria netta (PPN), rappresenta la quantità di carbonio al netto della respirazione sottratta annualmente all'ambiente e fissata sotto forma di biomassa. Questa viene espressa in t/ha di sostanza secca ed è rappresentata sia dall'accrescimento annuale di rami, foglie, frutti e radici, sia dall'accumulo di sostanza secca nelle strutture permanenti della pianta (tronco, branche, radici strutturali).

È molto importante conoscere il modo in cui avviene la distribuzione delle riserve di carbonio fissato all'interno degli alberi: il carbonio fissato nel legno delle strutture permanenti risiede nell'ecosistema per lungo tempo mentre quello contenuto nei frutti e nelle foglie viene rilasciato più rapidamente nell'atmosfera. Anche il carbonio contenuto nelle radici può rientrare nel rilascio a lungo termine. Un frutteto ha quindi una produzione di biomassa che può accumulare carbonio a lungo termine, come avviene per il legno di potatura ed eventuali manufatti in legno, oppure rilasciarlo rapidamente nel caso si tratti di frutti e foglie (Sofo et al., 2004).

I residui organici, le foglie senescenti e il materiale di potatura, prodotti annualmente da frutteti, vigneti e oliveti sono assimilabili, in termini di qualità e quantità, ai residui prodotti dai cereali e altre colture a ciclo annuale. Essi, avendo come destinazione finale il suolo, contribuiscono ad incrementare la riserva di carbonio organico sottoforma di humus stabile.

In alternativa all'uso di combustibili fossili la valorizzazione dei residui di potatura da un punto di vista energetico, porta ad avere un effetto positivo e diretto sull'effetto serra.

Attualmente, invece, la maggior parte dei residui di potatura viene bruciata a bordo campo (drupacee, olivi, agrumi, ecc.) anche per evitare problemi di tipo fitosanitario (Sofo et al., 2004).

Con l'utilizzo dei residui a fini energetici, invece, si avrebbe un duplice effetto:

- ✓ l'eliminazione di una fonte di emissione di CO₂
- ✓ la riduzione dell'utilizzo dei combustibili fossili.

Con l'aiuto di un censimento e del monitoraggio degli impianti arborei, si ricavano informazioni sulle principali caratteristiche produttive degli impianti. In questo modo è possibile, seppur orientativamente, determinare la quantità di CO₂ immagazzinata nella vegetazione e nel suolo. Tra l'eccesso del bilancio di CO₂ e l'incremento di sostanza secca vi è una correlazione diretta. Il bilancio gassoso, infatti, si può esprimere in unità di peso, solitamente g o Kg di CO₂ per pianta, per periodo di tempo (giorno oppure anno). Il valore ottenuto può riferirsi, attraverso l'uso di fattori di conversione, al contenuto di carbonio o di CO₂ oppure alla sostanza organica della pianta.

Il bilancio di carbonio in un frutteto, dipende dalle caratteristiche strutturali e morfologiche di ogni specie e di ogni sistema di impianto. Esso è influenzato dalla densità d'impianto, dal portinnesto e dalla forma di allevamento, con riferimento al rapporto tra massa fogliare e organi legnosi epigei e ipogei. Inoltre, altri fattori, come la disponibilità di acqua e di nutrienti, soprattutto di azoto, agiscono sul rendimento fotosintetico. In altri casi invece, possono essere le caratteristiche fisiche del terreno, piuttosto che quelle chimiche, a determinare l'accrescimento delle piante (Sofa et al., 2004).

Quando un impianto arboreo è giovane, la sua PPN per pianta ha un valore elevato e l'eccesso di fotosintesi si traduce in un aumento della sostanza organica accumulata nelle strutture permanenti della pianta, che incrementa di anno in anno la sostanza secca totale delle piante. Tale incremento è accentuato dal fatto che in questa fase non si effettuano prelievi di biomassa, come ad esempio frutti, da parte del coltivatore. Con il passare del tempo, l'aumento dell'età media delle piante, porta ad una diminuzione dell'incremento di sostanza secca nelle strutture permanenti delle stesse e al corrispondente aumento della frazione di sostanza organica accumulata nei frutti. Questo andamento, non è causato da un incremento delle perdite, bensì dalla diminuzione della PPN, che viene utilizzata soprattutto per la respirazione dei rami e delle radici, per il ricambio del fogliame e per lo sviluppo dei frutti. Quindi la quantità di CO₂ fissata nelle strutture permanenti si accumula in quantità maggiore durante la crescita delle giovani piante; quando queste raggiungono la maturità, l'annuale incremento della CO₂ fissata nella sostanza secca, decresce ma la biomassa stabile complessiva della pianta mantiene comunque livelli molto elevati (fino a 5-10 kg m⁻²; Kimmins, 1997).

Infine, per aumentare il sequestro di anidride carbonica, è più conveniente utilizzare specie a ciclo medio-lungo e sistemi di impianto a bassa densità di piantagione, dato che nelle specie arboree la fissazione di CO₂ nelle strutture permanenti è maggiore su piante di grande sviluppo strutturale piuttosto che in sistemi intensivi a ridotto sviluppo della chioma delle piante (Sofa et al., 2004).

Valori di fissazione della CO₂ in diverse specie arboree da frutto

Negli esperimenti effettuati per la misurazione dei flussi di anidride carbonica emessa o fissata in un determinato sistema agricolo, sono stati calcolati valori di sostanza secca della parte epigea della pianta e la sua ripartizione nei diversi organi.

I risultati ottenuti hanno dimostrato che c'è un'importante relazione tra la forma di allevamento e le tecniche di gestione del suolo nell'assorbimento dell'anidride carbonica atmosferica e nella sua fissazione sotto forma di sostanza organica nella pianta e nel suolo.

A tal proposito riportiamo alcuni esperimenti effettuati su olivo e albicocco.

I dati riguardanti l'olivo in fase di allevamento si riferiscono a piante irrigate di cui sono stati misurati a fine stagione vegetativa, dal 1992 al 1998, i valori di sostanza secca (Celano et al., 1999). Da questi ultimi sono stati ricavati i valori di anidride carbonica atmosferica fissata secondo l'equazione:

$$1 \text{ g di sostanza secca} = 0,5 \text{ g di C} = 1,83 \text{ g di CO}_2 \text{ atmosferica fissata}$$

Il tasso di accumulo della CO₂, indicato con k, nei frutteti in fase di allevamento, può essere calcolato mediante la seguente equazione (Sofa et al., 2006):

$$C_t = C_o e^{kt} + (i / d) (1 - e^{-kt})$$

dove:

C_o = riserva di CO₂ fissata all'inizio dell'esperimento

C_t = riserva di CO₂ dopo t anni

i = immissione di CO₂ da altre fonti esogene

d = costante di decomposizione, che nel nostro caso corrisponde al coefficiente isoumico.

Nel caso in cui si verifichi un allontanamento dal campo degli scarti di potatura e non ci siano ulteriori immissioni di CO₂ nell'agroecosistema, il secondo termine dell'equazione precedente può essere considerato trascurabile e quindi:

$$k = \ln (C_t / C_o) / t$$

Nell'oliveto di cui si parla, viene considerato il valore di k pari a 0,775. Nel momento in cui il materiale di potatura o altri tipi di apporti permangono sul suolo, il valore di k aumenta, in quanto il secondo termine dell'equazione non è più trascurabile. Se così fosse, significherebbe che l'agroecosistema sarebbe in grado di conservare, ogni anno al suo interno, una quantità di carbonio maggiore che permane nel suolo sotto forma di humus (Sofa et al., 2004).

Negli anni in cui è stato effettuato l'esperimento, la maggior parte della CO₂ fissata è stata allocata nel legno, mentre la parte restante nelle foglie e nei frutti.

Le foglie e i frutti non raccolti sono destinati a cadere sul suolo e a decomporsi, cedendo soltanto il 10% del loro contenuto in carbonio ai materiali umici del suolo. Al contrario il legno, costituisce una riserva di CO₂ fissata e quindi sottratta al ciclo del carbonio, per un periodo pari al ciclo vitale dell'albero, a meno che non si intervenga con operazioni di potatura drastica (Sofa et al., 2004).

In realtà, nel bilancio del carbonio dell'agro-ecosistema, i residui di potatura rappresentano una perdita di carbonio solo nel caso in cui vengano rimossi dal frutteto.

Le perdite di carbonio, prese in esame in questo studio, sono relative al materiale di potatura, ai frutti e alle foglie, riportate in *tabella 3* come quantità di CO₂ fissata in essi.

Materiale organico	Apporti di s.s. (t/ha/anno)	CO₂ (t/ha/anno)	Coefficiente isoumico	Humus (t/ha/anno)
Potatura	1,03	1,89	0,35	0,36
Foglie senescenti	0,96	1,76	0,2	0,19
Frutti	1,14	2,09	-	-
Totale	3,13	5,74	-	0,55

Tabella 3 – Valori di CO₂ fissata in materiale di potatura, foglie senescenti e frutti di un oliveto in fase di allevamento.
(Sofo et al., 2004).

L'intervento di potatura (verde) ed invernale è finalizzato al diradamento dei frutti e dei rami per equilibrare la pianta dal punto di vista vegeto-produttivo.

Questo comporta un aumento della quantità di carbonio fissato nell'agro-ecosistema, in quanto viene favorita un'ulteriore fissazione della CO₂ dovuta al rinnovamento del legno oltre alla possibilità, se lasciati nel terreno, di essere trasformati in humus.

Infatti, nell'oliveto in esame, se il materiale di potatura venisse lasciato a terra, apporterebbe al terreno una quantità di humus pari a 1,89 t/ha/anno di CO₂ fissata.

Passato un anno dall'aggiunta nel terreno dei residui di potatura, una parte del carbonio ritorna nell'atmosfera per respirazione sotto forma di CO₂, l'altra invece, rimane nel suolo in una quantità che varia da 1/5 ad 1/3 del totale, come biomassa viva o come humus (Brady e Weil, 2004).

Una volta che tali residui vengono convertiti in humus, il cui carbonio ha un tempo di turnover di 20-50 anni, essi consentirebbero, oltre alla fissazione della CO₂ per un lungo periodo, anche la concimazione e la stabilizzazione della struttura dei suoli.

Il materiale potato lasciato ad una naturale decomposizione è un esempio concreto, nel lungo periodo, di immobilizzazione di CO₂ (Lal, 1997).

Diverso è il caso in cui si considerano frutteti in piena produzione, quando cioè, gli alberi hanno raggiunto la maturità e l'incremento di sostanza secca sul totale diminuisce con il tempo. Confrontando i valori di CO₂ fissata nei frutteti in piena produzione, di cui riportiamo i dati in *tabella 4*, non si notano differenze marcate tra le diverse specie.

Materiale organico	Apporti di s.s. (t/ha/anno)	CO₂ (t/ha/anno)	Coefficiente isoumico	Humus (t/ha/anno)
OLIVO				
Potatura	4,3	7,9	0,35	1,50
Foglie	0,9	1,6	0,20	0,18
Frutti	5,1			
Totale	10,3	18,8	-	1,68
ALBICOCCO				
Potatura	3,2	5,9	0,35	1,12
Foglie	2,8	5,1	0,20	0,56
Frutti diradati	0,5	0,9	0,50	0,25
Frutti raccolti	3,4	6,2	-	-
Totale	9,9	18,1	-	1,93
PESCO				
Potatura	5,7	10,4	0,35	2,00
Foglie	4,2	7,7	0,20	0,84
Frutti diradati	0,3	0,5	0,50	0,15
Frutti raccolti	3,8	7,0	-	-
Totale	14,0	25,6	-	2,99
ACTINIDIA				
Potatura	2,6	4,8	0,35	0,91
Foglie	3,4	6,2	0,20	0,68
Frutti diradati	0,9	1,6	0,50	0,45
Frutti raccolti	5,3	9,7	-	-
Totale	12,2	22,3	-	2,04

Tabella 4 – Valori di CO₂ fissata in materiale di potatura, foglie e frutti di frutteti in piena produzione.
(Sofo et al, 2004).

I dati ottenuti da questo studio, possono essere estesi alla superficie totale di terreno agricolo destinato alla coltivazione delle singole specie.

Per esempio, la superficie a oliveto in Italia ammonta a poco più di 1 milione di ettari e quella mondiale a 9,8 milioni. Anche considerando la grande diversità nelle caratteristiche degli oliveti, si può presupporre che la quantità di CO₂ fissata nelle strutture permanenti delle piante e nei residui di potatura, e quindi di humus prodotto, siano importanti ai fini del contenimento dell'incremento della CO₂ ambientale (Sofo et al., 2004).

L'importanza della forma di allevamento

I risultati ottenuti dalla ricerca condotta su piante di pesco della cultivar Springcrest riguardanti i flussi di carbonio stimati in due impianti, di cui uno con piante allevate ad Y trasversale e l'altro con piante a vaso ritardato, ha evidenziato l'importanza della forma di allevamento

nell'assorbimento della CO₂ atmosferica e nella sua fissazione sottoforma di sostanza organica nella pianta e nel suolo (Sofo et al., 2004).

Durante tutto il periodo sperimentale sono stati effettuati interventi di diradamento dei frutti e di potatura estiva ed invernale. Alla fine della stagione vegetativa, per ogni anno, sono stati calcolati i valori di anidride carbonica fissata, misurando la sostanza secca della parte epigea della pianta e la sua ripartizione nei diversi organi, nei residui di potatura, nei frutti e nelle foglie senescenti. Il sistema radicale è stato stimato come il 30% della parte epigea (Xiloyannis et al., 1992).

La concentrazione di carbonio negli organi delle piante è stata calcolata secondo Grossman e Dejong (1994).

I valori di humus prodotto sono stati calcolati per i residui di potatura, le foglie senescenti e le colture di copertura mediante un coefficiente isoumico rispettivamente di 0,35, 0,20, e 0,15 (Celano et al., 2002).

Come si può notare dalla *tabella 5*, l'anidride carbonica fissata per ettaro di terreno è stata maggiore nel pescheto allevato ad Y trasversale.

Organo	CO ₂ fissata (t ha ⁻¹ anno ⁻¹)				Differenze (5°-2° anno) (t ha ⁻¹ anno ⁻¹)	
	2° anno		5° anno			
	Vaso	Y	Vaso	Y	Vaso	Y
Strutture permanenti	2,6	6,4	18,7	33,8	16,2	27,4
Radici	1,4	3	8,5	13,9	7,1	10,9
	2° anno		5° anno		Totale (dal 2° al 5° anno) (t ha ⁻¹ anno ⁻¹)	
	Vaso	Y	Vaso	Y	Vaso	Y
Frutti	0	0	1,8	4	5,5	11
Residui di potatura	0,5	1,6	5,3	7,2	13,6	25
Foglie	1,4	2,6	2,6	4,8	10,3	17,4

Tabella 5 – Distribuzione della CO₂ in un pescheto al 2° e 5° anno dall'impianto. (Xiloyannis et al., 2007).

Tutti questi risultati, mettono in evidenza l'importante ruolo che la coltivazione delle specie arboree ha sulla fissazione dell'anidride carbonica ed il contributo positivo che essa svolge nella mitigazione dell'effetto serra.

LA SOSTANZA ORGANICA

Negli ultimi anni la necessità di comprendere e approfondire gli obiettivi del protocollo di Kyoto, per la lotta all'effetto serra, ha portato la politica ambientale a considerare il ruolo della sostanza organica nel suolo, come fattore di rilievo nella strategia complessiva di lotta al cambiamento climatico.

La sostanza organica del suolo costituisce un'importante frazione (pool) del carbonio organico totale della Terra (Palese et al., 2005). Il carbonio organico presente nei suoli del mondo è stato stimato essere di 1550×10^{15} g, pari a 2 volte il "pool" atmosferico e 3 volte quello biotico (Celano et al., 2002). Anche piccoli cambiamenti nel pool in considerazione possono avere forti influenze sulla concentrazione di CO₂ atmosferica.

Caratteristiche della sostanza organica

La sostanza organica del suolo è generalmente suddivisa in quattro classi:

- gli organismi viventi (animali e vegetali) che vivono sullo strato superficiale o nel sottosuolo;
- la materia organica non ancora decomposta, costituita dalla lettiera di foglie e rami caduti dalle piante, dalle radici morte e dagli apporti costituiti dalle spoglie della microflora e della pedofauna;
- i costituenti organici in via di trasformazione, nei quali l'organizzazione dei tessuti e delle cellule è ancora riconoscibile, ma sono chiaramente in via di decomposizione;
- la materia organica profondamente trasformata dagli organismi del suolo, ormai in stato avanzato di umificazione.

La mineralizzazione della sostanza organica semplice è un processo molto veloce. Questa viene effettuata, in tempi rapidi, da parte di microrganismi del suolo che utilizzano la sostanza organica come substrato dando luogo a processi di ossidazione che causano liberazione di CO₂ e di nutrienti disponibili per le piante e per loro stessi.

Al contrario, i processi di mineralizzazione della sostanza organica umificata sono molto lenti. Ciò è dovuto al fatto che si tratta di materiale biologicamente recalcitrante, di struttura complessa, protetto dall'attacco dei microrganismi.

Nella sostanza organica del suolo possiamo trovare:

- sostanze semplici come amminoacidi, zuccheri, acidi organici mono e bicarbossilici;
- composti ad alto peso molecolare come polisaccaridi, proteine, acidi nucleici, lipidi e lignine;

- sostanze umiche.

Il primo gruppo costituisce un insieme di composti a piccolo peso molecolare ad alta solubilità nella soluzione circolante del suolo, prontamente disponibili come fonte di energia e quindi facilmente degradabili dalla flora microbica per cui hanno un breve tempo di resistenza nel suolo. Il secondo gruppo è costituito da composti a più alto peso molecolare, poco o per niente solubili in acqua (D'Antonio e Ingenito, 2006).

I polisaccaridi, le proteine e gli acidi nucleici possono essere idrolizzati a composti semplici e utilizzati come fonte di energia, mentre le cere, i grassi, le resine e le lignine sono difficilmente attaccabili dai microrganismi e persistono pertanto per lunghi periodi nel suolo. Le sostanze umiche possono costituire tra il 33% e il 65% della sostanza organica del suolo e sono il prodotto di processi di resintesi (umificazione) dei prodotti della decomposizione e trasformazione chimica e biologica di molecole provenienti dalle spoglie e dalle emissioni di organismi vegetali ed animali.

L'influenza della sostanza organica sulle proprietà del suolo

La sostanza organica ha un effetto diretto sulla crescita delle piante grazie alla sua influenza sulle proprietà fisiche, chimiche e biologiche del suolo. Essa infatti favorendo la strutturazione, facilita le coltivazioni e consente la circolazione di gas e soluzioni all'interno del materasso terroso. Ha un'elevata superficie specifica, interagisce con i metalli e con i minerali argillosi, agisce come scambiatore ionico e costituisce una riserva di azoto.

Essa costituisce la fonte energetica per i batteri azotofissatori, favorisce lo sviluppo delle radici, la fotosintesi e la germinazione dei semi.

Stimola processi fisiologici e biochimici del metabolismo cellulare e svolge una funzione di filtro permettendo di diminuire gli effetti tossici di metalli pesanti e pesticidi.

Vedendo nel dettaglio le singole funzioni, la sostanza organica può dar luogo allo sviluppo di aggregati di dimensioni variabili a seconda delle caratteristiche di tessitura del suolo (Six et al., 2001).

La sua presenza garantisce una buona porosità, che aumenta l'aerazione e il drenaggio del suolo, favorendo lo sviluppo delle radici, l'attività della biomassa e l'attuarsi dei cicli degli elementi nutritivi da cui dipende la fertilità del suolo.

Lo sfaldamento degli aggregati e il ruscellamento in seguito a violente piogge, portano alla perdita degli strati superficiali più ricchi in materiale nutritivo, causando l'impoverimento del suolo, fenomeni di eutrofizzazione e interrimento di canali e fiumi.

La sostanza organica influenza la capacità di ritenzione idrica migliorando la struttura del suolo e trattenendo grandi quantitativi di acqua come acqua di idratazione. Quest'ultima, trattenuta nel terreno, influenza notevolmente il regime di temperatura del suolo a causa della sua capacità termica. Il suolo infatti si raffredda e si riscalda molto più lentamente quando il contenuto di acqua è elevato.

Un fattore molto importante nel determinare la temperatura del suolo è anche il suo colore. Anche bassi contenuti di sostanza organica possono modificare intensamente il colore del suolo rendendolo più scuro.

La sostanza organica ha inoltre una forte influenza sul pH del suolo, in quanto provoca acidificazione, questo stimola la crescita della biomassa microbica che produce biossido di carbonio che acidifica il suolo.

Le radici di molte piante rilasciano acidi organici come l'acido ossalico, il citrico, il propionico ecc. che numerosi microrganismi sono in grado di sintetizzare con lo scopo di aumentare la solubilità dei silicati e rendere assimilabili gli elementi nutritivi in essi contenuti.

Tutto questo porta ad una acidificazione del suolo e ad una accelerazione dei processi di formazione dello stesso, così come avviene nel suolo di conifere.

La sostanza organica inoltre, favorendo la formazione di una buona struttura e dunque di un'adeguata porosità, rende ottimali gli scambi gassosi con l'atmosfera e favorisce la formazione di complessi con numerosi metalli tra cui ferro, magnesio, rame e zinco.

Il ruolo della sostanza organica nella fissazione dell'anidride carbonica

L'effetto positivo che la sostanza organica ha nei confronti della fissazione della CO₂ è evidente nel suolo già dopo un tempo relativamente breve dal suo interrimento.

Tale effetto non è trascurabile, visto le quantità ipotetiche di carbonio da accumulare nel suolo per bilanciare le emissioni in atmosfera dovute al sistema antropico ed industriale. La *figura 3* mette in evidenza l'andamento della sostanza organica nel terreno in base a diversi regimi di fertilizzazione, applicato come modello previsionale al Sud Europa.

In esso sono riportate quattro curve di accumulo (od impoverimento) di sostanza organica nel suolo su un arco temporale di 300 anni, assumendo i valori dei parametri che governano il modello tipico dell'Europa Meridionale e i regimi di fertilizzazione con compost pari rispettivamente a 0, 5, 10, 15 ton/ha di sostanza secca all'anno (per ottenere il peso fresco si può moltiplicare per 1,5 circa, assumendo il 35% di umidità) (Favoino e Hogg, 2002).

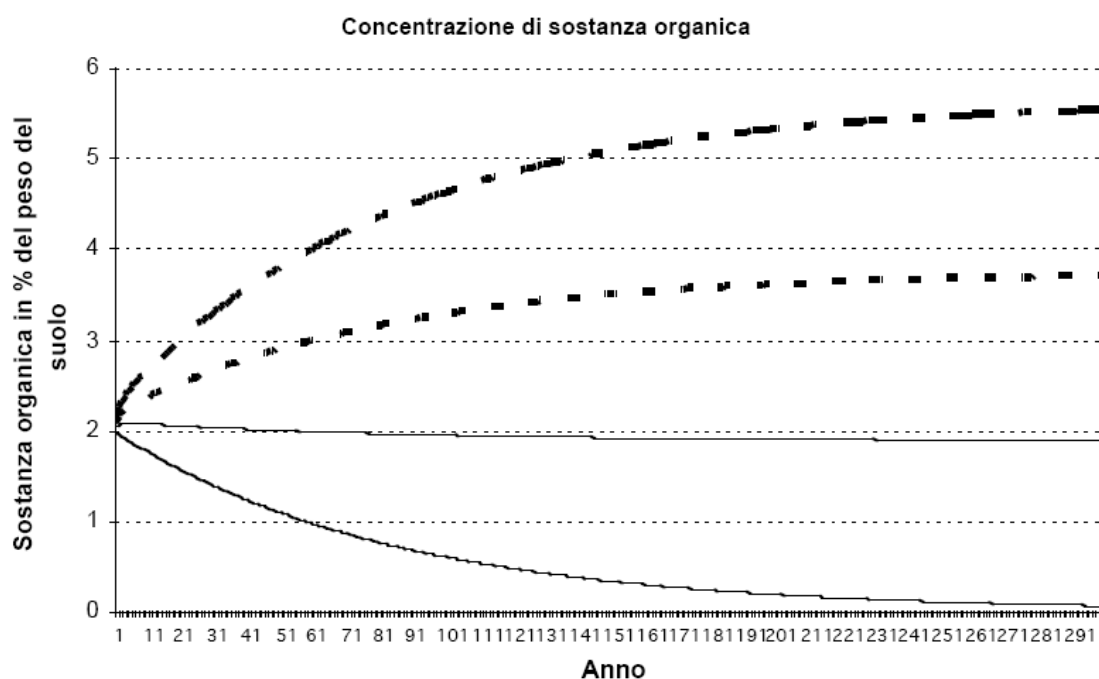


Figura 3: *Effetto di differenti regimi di fertilizzazione annua con compost sui livelli di sostanza organica nel suolo: applicazione del modello previsionale al Sud Europa (le 4 linee dall'alto in basso corrispondono al profilo di accumulo o impoverimento di sostanza organica nel suolo, in conseguenza di una fertilizzazione pari a 15, 10, 5 e 0 tonnellate di sostanza secca per ettaro e per anno. (Favoino e Hogg, 2002).*

Possiamo quindi concludere che effettuando negli anni, una continua fertilizzazione con compost, la percentuale della sostanza organica nel terreno tende ad aumentare o a rimanere stabile.

Risulta quindi importante il ruolo del compost come pratica fertilizzante, capace di immagazzinare il carbonio nel terreno sottoforma di humus, altrimenti disperso in atmosfera come CO₂ (Centemero e Favoino, 2006).

Questa è la premessa per impostare politiche conseguenti di promozione delle pratiche di fertilizzazione organica e di recupero delle biomasse mediante compostaggio.

LE BIOMASSE

DEFINIZIONE DI BIOMASSA

La biomassa è vista come un'interessante risorsa energetica. Con l'articolo n°2 del Decreto Legislativo n°387/03 viene definito il termine "Biomassa" come *la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali) e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani*.

Si definisce quindi come qualsiasi sostanza di matrice organica destinata a fini energetici o alla produzione di ammendante agricolo, che rappresenta una sofisticata forma di accumulo di energia, ottenuta mediante reazione tra anidride carbonica, acqua e luce solare, attraverso la fotosintesi, per produrre carboidrati (McKendry, 2002).

In termini di rinnovabilità, la biomassa, esclude l'utilizzo di materiale fossilizzato, in quanto lo stesso articolo definisce come fonte energetica rinnovabile una fonte non fossile (AREA Science Park, 2006).

Inoltre, vi sono alcuni materiali che non vengono considerati biomassa, pur appartenendo alla chimica organica, come le materie plastiche, la cui formazione non è dovuta alla fotosintesi.

Ai fini energetici la biomassa viene trasformata direttamente o a seguito di processi di trasformazione, in combustibile solido, liquido o gassoso.

Tale combustibile, viene definito biocombustibile, mentre qualsiasi forma di energia ottenuta con processi di conversione della biomassa è definita bio-energia.

In Italia il potenziale disponibile definito come contenuto energetico di biomasse residuali prodotte ogni anno è pari a circa 25 milioni di tonnellate di petrolio equivalenti (Mtep).

Tenuto conto di usi alternativi della biomassa e della difficoltà di accesso a molti luoghi di produzione e di raccolta, il potenziale utilizzabile si aggira intorno a 15 Mtep (60% del potenziale disponibile) (ITABIA, 2003).

VANTAGGI DELL'USO DELLE BIOMASSE

I vantaggi che si possono ottenere dall'uso delle biomasse a fine energetico sono principalmente i seguenti:

- rinnovabilità della fonte energetica nel tempo;
- emissione globale nulla, dovuta al fatto che l'anidride carbonica assorbita durante il ciclo vitale è la stessa che viene prodotta nei processi di combustione della stessa;
- possibilità di creare colture specializzate dirette alla produzione di piante energeticamente migliori;
- costituzione di una risorsa energetica locale a basso impatto ambientale;
- i combustibili liquidi derivati da biomasse contengono minime quantità di zolfo, riducendo così le emissioni di SO₂ e conseguentemente il fenomeno delle piogge acide;
- anche le emissioni di NO_x possono essere ridotte tramite temperature di combustione minori e con l'uso di moderne tecnologie per il controllo dell'inquinamento
- se gestite correttamente non sono destinate all'esaurimento.

Inoltre:

a livello economico:

- ✓ riduzione della dipendenza energetica
- ✓ riconversione del settore agricolo
- ✓ valorizzazione economica dei sottoprodotti e dei residui organici
- ✓ risparmio nei costi di depurazione e smaltimento
- ✓ stimolo alle industrie del settore

a livello sociale:

- apertura del mercato dell'energia agli operatori agricoli
- diversificazione e integrazione delle fonti di reddito del settore agricolo
- occupazione in zone marginali
- riduzione dell'esodo dalle campagne

a livello ambientale:

- riduzione delle emissioni di CO₂ nell'atmosfera
- riduzione delle emissioni nell'aria dei principali inquinanti di origine fossile (SO_x, CO, benzene)
- possibilità di smaltire notevoli quantità di rifiuti e residui organici in maniera ambientalmente corretta, recuperando allo stesso tempo parte dell'energia in essi contenuta

- Controllo dell'erosione e del dissesto idrogeologico di zone collinari e montane (ANPA, 2001).

Il problema principale dell'utilizzo della biomassa per la valorizzazione energetica rimane quello dell'approvvigionamento.

In Italia, non sono presenti sul territorio in maniera significativa, colture dedicate altamente produttive (Short Rotation Forestry - SRF).

Una possibile soluzione al problema è data dal settore agricolo: ogni anno le aziende agricole si trovano ad affrontare il problema di smaltire, a proprio costo, tonnellate di scarti della coltivazione e della lavorazione dei propri prodotti.

FONTI DI APPROVVIGIONAMENTO

Esiste un'ampia varietà di specie coltivabili o residui recuperabili, da destinare alla conversione energetica, come biomassa vegetale da utilizzare direttamente oppure previa trasformazione in combustibile solido, liquido o gassoso.

Vengono così definite alcune categorie, quali:

- **Culture di origine agricola:**
 - **sottoprodotti di colture erbacee:** paglie dei cereali, stocchi, ecc.;
 - **sottoprodotti di colture arboree:** sarmenti di vite e potature di olivi, agrumi, alberi da frutta, mandorli e noccioli
 - **colture lignocellulosiche erbacee ed arboree dedicate:**
 - **colture erbacee annuali:** sorgo da fibra, canapa;
 - **colture erbacee poliennali:** canna comune, cardo, miscanto;
 - **colture legnose poliennali:** a turno breve di taglio (S.R.F. - Short Rotation Forestry) - pioppo, eucalipto, salice, ginestra e robinia;
 - **colture oleaginose:** attualmente quelle più utilizzate sono colza, girasole, soia, per la produzione di oli vegetali e biodisel;
 - **colture alcoligene:** tuberi, granella, steli, rizomi per la produzione di bioetanolo;
 - **colture zuccherine:** barbabietola, sorgo zuccherino, topinambur;
 - **colture amidacee:** frumento, mais;
- **legna:** ricavabile dal patrimonio forestale, in una ragionevole ipotesi di sviluppo produttivo ed ambientale del medesimo;
- **sottoprodotti forestali:** residui delle operazioni selvicolturali o delle attività agroforestali, ramaglia residuale dell'utilizzazione di fustaie e cedui, ecc
- **scarti derivanti dagli allevamenti zootecnici:** reflui zootecnici per la produzione di biogas;
- **scarti derivanti dalle industrie agroalimentari:**
 - **residui provenienti dalle industrie del legno o dei prodotti in legno:**
 - **scarti di legno vergine:** da segherie e falegnamerie
 - **scarti di legno trattato:** da mobili e arredi in legno verniciati
 - **scarti di legno impregnato:** manufatti particolari
 - **residui provenienti dalle industrie della cellulosa e della carta;**
 - **residui provenienti dal settore lattiero caseario, conserviero, saccarifero, della macellazione, da frantoi:** siero del latte, vinacce, sanse esauste, gusci e noccioli;

- **prodotti di origine urbana:** residui delle operazioni di manutenzione del verde pubblico e frazione umida di rifiuti solidi urbani.

(AREA Science Park, 2006)

POTENZIALE DELLE BIOMASSE

COLTURE ENERGETICHE ERBACEE DEDICATE

Una valida soluzione per l'approvvigionamento di biomassa ad uso energetico è la coltivazione dedicata di specie erbacee e legnose.

Queste colture, alternative alle alimentari, hanno un elevato potenziale produttivo di biomassa e possono determinare consistenti benefici ambientali, contribuendo a ridurre l'erosione del suolo agricolo e il dilavamento dei nutrienti, preservando così la qualità delle acque superficiali e di falda. Il potenziale di tali colture è notevole, oltre che dal punto di vista biologico-culturale, anche per la necessità di trovare alternative all'eccesso di terre coltivate e all'opportunità di utilizzare in modo economico le aree di recente marginalizzazione provenienti dall'abbandono della destinazione agricola.

La caratteristica delle colture erbacee annuali è quella di restare nello stesso appezzamento in un sola stagione e quindi rientrare in una rotazione (girasole, colza, sorgo da fibra, canapa, ecc.).

Le colture erbacee poliennali (canna comune, miscanto, cardo ecc) e le colture legnose a corta rotazione (pioppo, salice, eucalipto, robinia, ginestra) sono quelle che possono essere messe a dimora tramite l'uso di semi, talee e rizomi, una sola volta ad inizio del ciclo di produzione, che può durare 10-15 anni.

Queste si caratterizzano per la capacità di crescere dopo il taglio, che può avvenire annualmente oppure ogni 2-3 anni, e per un'elevata produttività per ettaro di biomassa. Inoltre, in termini di lavorazione del terreno ed interventi di coltivazione, queste colture sono meno esigenti.

Nel caso di colture erbacee, le tecniche di coltivazione e di raccolta si avvalgono di macchine agricole convenzionali opportunamente modificate; nel caso delle specie legnose, la meccanizzazione è più complessa e richiede la costruzione di macchine specifiche. Questi macchinari verranno successivamente analizzati nel dettaglio.

Alcune di queste piante, offrono un prodotto indistinto da tagliare integralmente, altre invece, danno prodotti differenziati da valorizzare adeguatamente (frutti, semi, steli, tutoli, ecc.).

Attualmente le colture energetiche rappresentano la principale produzione non alimentare di terreni interessati dal set-aside. Ci sono, infatti, migliaia di ettari di terreno tolti alla produzione, a causa delle eccedenze agricole (set-aside obbligatorio), che possono essere destinati a colture dedicate per la produzione di biomassa a scopo energetico (AREA Science Park, 2006).

Al riguardo si riporta in *tabella 6* il trend delle domande per il set-aside in Italia dal 1998 al 2003.

ANNO DI RIFERIMENTO	1998/1999	1999/2000	2000/2001	2001/2002	2002/2003	2003/2004
SET-ASIDE TOTALE	169,0	235,5	210,5	235,0	222,6	219,1
DI CUI NON-FOOD	14,3	26,8	22,4	21,4	22,3	22,5

Tabella 6 – Domanda set-aside in Italia (Kha). (AREA Science Park, 2006).

Si può notare come negli ultimi anni gli ettari interessati alle colture non-food siano rimasti costanti, a causa del mancato sostegno finanziario della Politica Agricola Comunitaria.

Generalmente le caratteristiche ideali di un buon raccolto a fini energetici sono:

- Massima produzione di sostanza secca per ettaro
- Minimo contributo energetico per la produzione del raccolto
- Basso costo
- Composizione con bassa concentrazione di contaminanti
- Bassa quantità di nutrienti richiesta

Le caratteristiche desiderabili per tale raccolto, dipenderanno anche dal clima locale e dalle condizioni del suolo.

A seguito di numerosi studi, le colture migliori per la produzione di biocombustibile si sono rivelate essere:

- le colture oleaginose o alcoligene, per la produzione di biocombustibili liquidi per l'autotrazione;
- le colture da fibra, per la produzione di elettricità e calore.

In conclusione con questo tipo di colture possiamo ipotizzare di ottenere circa 4 Mtep/anno, equivalente ad un potenziale di produzione globale pari a circa 10 milioni di tonnellate per ettaro.

COLTURE ENERGETICHE ARBOREE DEDICATE

Altre colture dedicate a scopi energetici sono le colture arboree chiamate “Short Rotation Forestry” o SRF. Queste sono coltivazioni legnose a turno di taglio breve (2-5 anni), caratterizzate da una crescita molto rapida ed una notevole produzione di biomassa, tanto maggiore quanto più i cicli di crescita sono rapidi e l'impianto denso (6000-14000 piante/ha).

Il prodotto che si ottiene è rappresentato da legno da energia, un materiale prevalentemente povero che richiede bassi costi di impianto e semplicità operativa.

In Italia è ragionevole prevedere una produzione annua di sostanza secca compresa tra 10 e 20 t/ha, tecnicamente migliorabili con la selezione di cultivar specifiche fino a 15-25 t/ha (Facciotto, 2003).

BIOMASSE DI ORIGINE FORESTALE

In Italia, le risorse forestali disponibili sul territorio, ammontano a circa 8,7 milioni di ettari di superficie (IFNC, 2005). Di questa solo il 25 % è coperto da fustaie, mentre il 42% è coperto da cedui e il 26% da formazioni arbustive.

Stime provvisorie dimostrano che tali risorse forestali arrivano a fissare circa 55 tonnellate di carbonio per ettaro.

Secondo uno studio dell'A.R.S.I.A, escludendo i boschi cedui già utilizzati per la produzione di legna da ardere, i residui ottenuti attraverso le risorse forestali sono dati da:

- ramaglie di cedui di faggio, cerro, roverella e leccio;
- ramaglie di specie dolci, quali castagno, nocciolo ecc.;
- ramaglie di tronchi e tronchetti di scarso valore commerciale derivanti da interventi selvicolturali, diradamenti, spalcatore ecc.;
- biomasse derivanti da tagli di utilizzazione di fustaie.

In totale, il materiale di origine forestale che potenzialmente può essere destinato esclusivamente ad uso energetico è di circa 18 Mm³/anno (ITABIA, 2003).

RESIDUI AGRO-INDUSTRIALI

In questa categoria rientrano:

- I residui di prima e seconda lavorazione del legno;
- Residui dell'industria della carta, risiera, enologica, conserviera, olearia;

Volendo riportare una stima delle disponibilità effettive di tali residui (Mt anno⁻¹) si otterrebbe:

I e II lavorazione del legno	1,8
Riciclo legno	4,0
Industria carta	0,15
Olearia	0,4
Enologica	0,3
Conserviera	0,3
Risiera	0,28

Per un totale di 7,230 Mt anno⁻¹ di residui.

BIOMASSE DA AGRICOLTURA

Le biomasse residuali derivanti dall'agricoltura producono una ingente quantità di scarti legnosi che attualmente non vengono valorizzati in maniera adeguata.

Ancora oggi infatti, gli agricoltori considerano la gestione dei residui di potatura come un problema di smaltimento, piuttosto che un'operazione potenzialmente produttiva.

Questa situazione può essere estesa a tutto il territorio nazionale, quello che cambia è il tipo di coltura prevalente sul territorio.

L'agricoltura è uno dei principali settori per la produzione di combustibili rinnovabili. Infatti, il comparto agricolo è in grado di fornire diverse tipologie di biomasse, dalle colture energetiche erbacee a quelle legnose e dalle produzioni dedicate a quelle residuali.

In *tabella 7* sono indicate le categorie dei residui in base alle colture più significative, le percentuali e le modalità di utilizzo attuali.

COLTURA	RESIDUO	UTILIZZO	% DI UTILIZZO
Frumento tenero e duro	Paglia	Lettiera per il ricovero degli animali Alimentazione animale Industria cartaria e varie Bruciatura in campo	40-50% 5-10% 5-10% 30-40%
Orzo	Paglia	Lettiera per il ricovero di animali Bruciata in campo	40-50% 50-60%
Avena	Paglia	Alimentazione animale Bruciata in campo	40-60% 40-60%
Riso	Paglia	Lettiera per il ricovero di animali Bruciata in campo	20-30% 70-80%
Mais da granella	Stocchi (steli) Tutoli (assi delle spighe)	Lettiera per il ricovero di animali (stocchi) Alimentazione animali (stocchi) Interramento (tutoli)	40-50% 10-20% 70-80%
Barbabietola da zucchero	Foglie	Alimentazione animale Interramento	10-20% 80-90%
Tabacco	Steli	Interrati	n.d
Girasole	Steli	Interrati	n.d
Vite (da uva e da tavola)	Sarmenti (rami)	Interramento Bruciati a bordo campo Fascine da ardere	30-40% 30-40% 20-40%
Olivo	Legna, rami, frasche	Energia (legna) Bruciati a bordo campo (rami)	90-100% 90-100%
Fruttiferi (melo, pero, pesco ecc.)	Rami	Interrati (solo in pianura) Bruciati	10-20% 80-90%
Agumi (arancio, limone ecc.)	Rami	Bruciati	90-100%
Fruttiferi a guscio (mandorlo, nocciolo, noce)	Rami	Bruciati	90-100%

Tabella 7 – Categoria dei residui e loro percentuale di utilizzo. (*ITABIA, 2003*).

Tuttavia, dal punto di vista dell'utilizzazione in impianti per la produzione di energia elettrica e/o termica, le fonti agricole concretamente utilizzabili, sono al momento le biomasse legnose e fra queste principalmente quelle residuali.

Il potenziale di biomasse più utilizzato in agricoltura è rappresentato dai seguenti prodotti residuali:

- paglie dei cereali autunno-vernini: frumento tenero e duro, segale, orzo e avena;
- stocchi, tutoli e brattee di mais;
- paglia di riso;
- sarmenti di potatura della vite;
- ramaglia di potatura dei fruttiferi;
- frasche di olivo.

La stima della quantità di residui derivanti dall'agricoltura è piuttosto complessa.

La base informativa, costituita dalle dichiarazioni effettuate ai sensi della legge 25 gennaio 1994 n.70 attraverso il modello unico di dichiarazione ambientale (MUD), non è adeguata per la stima dei rifiuti speciali prodotti dal settore agricolo, in quanto, ai sensi della normativa vigente, sono previste numerose esenzioni dall'obbligo di dichiarazione per gli operatori agricoli.

La problematica più critica nell'ambito dei residui agricoli è la loro raccolta organizzata, che non appare proponibile in aziende di piccole dimensioni dato il basso valore del prodotto che non giustifica il costo d'acquisto delle macchine.

Paglie dei cereali autunno vernini

Le paglie che restano sul campo dopo la trebbiatura rappresentano il principale sottoprodotto dei cereali autunno-vernini, coltivati per la produzione di granella.

Generalmente questo materiale viene lasciato in campo per essere utilizzato, dopo la raccolta, come lettiera per animali bovini per la formazione di letame maturo da utilizzare come ammendante per terreni agricoli, oppure interrato come fonte di sostanza organica per migliorare la struttura del terreno e mantenerne la fertilità (AREA Science Park, 2006).

Le paglie però possono essere utilizzate anche a fini energetici, avendo la caratteristica di possedere un potere calorifico inferiore che varia tra 3300 e 4200 Kcal/Kg di sostanza secca con un'umidità alla raccolta del 14-20%.

Purtroppo la quantità disponibile, per ettaro di superficie, è piuttosto bassa e varia tra 3 e 6 t/ha per anno, in proporzione alla quantità di granella raccolta.

In base al periodo di trebbiatura che va da giugno a luglio, all'andamento climatico e all'ordinamento colturale, il periodo migliore per la raccolta delle paglie è collocata a 15-45 giorni

dopo di essa. Nel caso in cui il cereale preceda una coltura di secondo raccolto, come orzo seguito da mais, tale periodo si riduce a pochi giorni.

Stocchi, tutoli e brattee di mais

La produzione maggiore di sottoprodotti per unità di superficie è rappresentata da stocchi, tutoli e brattee di mais da granella. Il quantitativo raggiunto complessivamente da tutoli e brattee, raccolto direttamente dalla mietitrebbiatrice, varia tra 1,5 e 2,5 t/ha, in base alle condizioni della coltura al momento della trebbiatura e alle caratteristiche costruttive della barra di raccolta.

Gli stocchi, invece, hanno una produttività annua pari a 4-5 t/ha, generalmente utilizzati come lettiera negli allevamenti possono anche essere sfruttati a livello energetico. La raccolta avviene circa 30-40 giorni prima dell'inverno e di 50-90 giorni se l'intervento viene effettuato nella primavera successiva come nel caso del mais in monosuccessione.

Paglia di riso

La produttività della paglia di riso varia da 3 a 5 t/ha all'anno. La raccolta di tale prodotto presenta maggiori problematiche rispetto ad altri residui agricoli. Essa viene eseguita dopo quella del prodotto principale e quindi ricade nel periodo autunnale. Questo momento dell'anno infatti è caratterizzato da un'elevata piovosità che aumenta l'umidità del prodotto e quindi ne riduce la qualità. Si ottiene infatti, un prodotto con perdita di sostanza secca, con sviluppo di muffe e sporco di fango. Generalmente utilizzata come lettiera per animali, trova impiego anche come combustibile nell'ambito dello stesso ciclo produttivo del prodotto principale, in particolare, in fase di essiccazione dello stesso (Tartara, 2005).

Sottoprodotti delle colture arboree da frutto

La raccolta dei residui di potatura da utilizzare a fini energetici dipende, dalla densità dell'impianto, dalle modalità di potatura, dalla forma di allevamento e quindi dalla modalità di accrescimento della pianta, infine, dalla disposizione del terreno (pendenza e grado di frammentazione).

Anche per le potature della vite, dell'olivo e degli alberi da frutto, che vengono effettuate con turni variabili in funzione della tipologia della coltivazione, si pone il problema dell'eliminazione di tale materiale dai filari.

Questo infatti, viene generalmente raccolto e portato a bordo campo per essere smaltito per bruciatura. La parte costituita da materiale legnoso trova spesso reimpiego come legna da ardere mentre la parte più minuta è scarsamente utilizzata e quindi può essere interrata.

L'interramento delle potature, operato generalmente da trinciatrici che sminuzzano le biomasse e le mescolano con la parte superficiale del terreno, ha il vantaggio di apportare sostanza organica al terreno. Allo stesso tempo, però, può rilasciare nel suolo sia eventuali sostanze chimiche utilizzate nella lotta antiparassitaria, sia eventuali parassiti vegetali e/o animali presenti sulle potature.

In *tabella 8* vengono riportate le principali caratteristiche chimico-fisiche dei residui colturali sopra citati.

Sottoprodotto agricolo	Umidità alla raccolta (%)	Produzione media (t/ha)	Rapporto C/N	Ceneri (% in peso)	PCI (kcal/kg ss)
Paglia frumento tenero	14-20	3-6	120-130	7-10	4100-4200
Paglia frumento duro	14-20	3-5	110-130	7-10	4.100-4.200
Paglia altri cereali autunno-vernini	14-20	3-5,5	60-65	5-10	3.300-3.400
Paglia riso	20-30	3-5	60-65	10-15	3.700-3.800
Stocchi mais	40-60	4.5-6	40-60	5-7	4.000-4.300
Tutoli e brattee di mais	30-55	1,5-2,5	70-80	2-3	4.000-4.300
Sarmenti vite	45-55	3-4	60-70	2-5	4.300-4.400
Frasche di olivo	50-55	1-2,5	30-40	5-7	4.400-4.500
Residui fruttiferi	35-45	2-3	47-55	10-12	4.300-4.400

Tabella 8 – *Caratteristiche chimico-fisiche dei residui colturali. (AREA Science Park, 2006).*

PARAMETRI DI QUALITA' DELLA BIOMASSA

Potere calorifico inferiore

La qualità della biomassa e quindi la sua capacità di produrre energia è rappresentata dal potere calorifico inferiore (PCI). Questo fattore, esprime la quantità di calore che si sviluppa con la combustione completa di 1 Kg di legno. Il PCI si misura in Kcal/Kg.

Il potere calorifico del legno è influenzato principalmente da due fattori, che rappresentano le caratteristiche fisiche della biomassa legnosa rilevanti a fini energetici, come l'umidità e la densità.

- L'umidità viene definita come il rapporto tra la quantità d'acqua contenuta nel legno e il peso dello stesso, espressa come percentuale del rapporto (peso fresco – peso secco)/peso fresco.

Questa variabile influisce sui meccanismi di combustione, in quanto la presenza di acqua riduce la quantità di sostanza secca presente nel materiale ed inoltre, porta ad un effettivo consumo di energia spesa per la sua evaporazione, con conseguente diminuzione dell'efficienza termica.

L'acqua contenuta nel materiale varia in funzione dell'età, della parte della pianta considerata, della stagione del taglio (Progetto SICOTER, 2006).

Per ottenere buoni risultati, il contenuto di umidità nel materiale combustibile dovrebbe essere inferiore al 30%. Non sempre è possibile far coincidere la raccolta con la fase di utilizzo del materiale, così il metodo di stoccaggio usato risulta essere fondamentale per la conservazione dello stesso. È possibile sfruttare questo tempo per favorire l'essiccamento del materiale. In questo modo la percentuale di umidità contenuta nella massa vegetale al momento della raccolta, può diminuire, migliorando le qualità del materiale per la combustione.

- La densità esprime la massa per unità di volume misurata in Kg/m^3 .

Questo termine indica la qualità del combustibile legnoso perché il potere calorifico del legno è direttamente proporzionale ad esso. Anche questo fattore varia in base all'età, alla parte della pianta utilizzata. In generale varia tra 800 e 1120 Kg/m^3 , se riferito allo stato fresco, oppure, tra 360 e 810 Kg/m^3 , se riferito a quello secco.

Esistono però, altri fattori non meno importanti, che devono essere presi in considerazione nella determinazione dei processi di conversione.

Essi si dividono in:

- Contenuto in cenere: i residui ottenuti dalla conversione termochimica o biochimica, durante la combustione producono nell'aria quelle che vengono definite "ceneri". Le ceneri vengono prese come parametro standard per le misure di combustibili solidi e liquidi (Di Blasi et al., 1997).

- Contenuto in alcali: il contenuto in alcali nella biomassa, come ad esempio sodio, potassio, magnesio, fosforo e calcio, sono molto importanti per i processi di conversione termochimica. Le reazioni degli alcali con i silicati presenti nelle ceneri, produce una fase liquida mobile ed appiccicosa, che può portare a blocchi nelle vie aeree all'interno della fornace e condensarsi sulla superficie di trasferimento di calore della caldaia con il rischio di corroderla.
- Rapporto C/N: indica lo stato di lignificazione del materiale; più alto è questo rapporto, maggiore è il contenuto in lignina presente in esso e quindi più grande è il suo potere calorifico.

Sono le proprietà della biomassa che determinano la scelta del processo di conversione. Allo stesso tempo la scelta della biomassa è influenzata dalla forma nella quale è richiesta l'energia a processo avvenuto, ed è l'interazione tra questi due aspetti che permette di scegliere ed introdurre l'uso della biomassa come fonte di energia (McKendry, 2002).

STATI DELLA BIOMASSA E LORO CARATTERISTICHE

Le forme commerciabili della biomassa si dividono in:

- ✓ Combustibili allo stato solido
 - Legna da ardere
 - Cippato
 - Pellet
- ✓ Combustibili allo stato liquido
 - Oli vegetali
 - Biodiesel
 - Bioetanolo
- ✓ Combustibili allo stato gassoso
 - Biogas

LE BIOMASSE COMBUSTIBILI ALLO STATO SOLIDO

In genere, prima di essere immesse sul mercato, le biomasse legnose subiscono un processo di trasformazione più o meno complesso, capace di conferire al materiale caratteristiche fisiche ed energetiche idonee all'impiego negli impianti energetici (AREA Science Park, 2006).

Questo tipo di biomassa viene sfruttato per:

- ✓ riscaldamento domestico o di ambienti tecnologici (serre, capannoni, ecc.)
- ✓ calore di processo industriale
- ✓ teleriscaldamento urbano
- ✓ generazione di energia elettrica (con recupero del calore residuo).

Legna da ardere

Generalmente venduta in ciocchi o tronchetti, con pezzature che vanno dai 50 ai 500 mm e tenori in umidità inferiori al 50% a seconda del tempo e della tipologia di stagionatura a cui è sottoposta la biomassa, il suo utilizzo a livello domestico in piccoli impianti alimentati manualmente, è oramai in declino a favore di forme densificate quali bricchetti e pellet.

Le caldaie a legna, infatti, oltre e non offrire possibilità di automazione nel caricamento del combustibile hanno in genere una minore efficienza energetica.

Cippato

Per rendere omogenea la composizione dei materiali e renderli adatti anche all'alimentazione automatica degli impianti energetici, si può ricorrere alla cippatura, operazione meccanica che riduce gli assortimenti in scaglie di piccole dimensioni denominate chips.

La geometria dei chips varia con le tecniche di taglio adottate, in funzione delle dimensioni richieste dal tipo di impianto di trasformazione energetica e, soprattutto, del suo sistema di alimentazione. La loro dimensione tipica è 40x20x3mm.

L'omogeneità è il parametro più importante, dato che la presenza di chips di dimensioni disomogenee provoca spesso fastidiosi bloccaggi dei sistemi d'alimentazione degli impianti.

Il tenore di umidità desiderato è generalmente ottenuto tramite stoccaggio in cumulo, l'importante è che la biomassa di partenza presenti una percentuale di umidità tra il 25% e il 50%: valori al di fuori di questo range possono causare problemi al funzionamento della cippatrice.

Pellet

Il pellet è un biocombustibile densificato, normalmente di forma cilindrica, ottenuto comprimendo la biomassa polverizzata con o senza l'ausilio di agenti leganti di pressatura.

La particolarità di questo materiale, risiede nel fatto di comportarsi, nella movimentazione, in maniera simile a quella dei fluidi. Questo permette di avere un elevato grado di automazione negli apparecchi e negli impianti di combustione (ITABIA, 2003).

Le caratteristiche fisiche e qualitative che lo rendono così importante sono la particolare forma, dimensione e omogeneità dei suoi elementi, oltre ad un'elevata densità apparente, basso contenuto di umidità ed alto potere calorifico.

Ad oggi, il mercato del pellet è ad esclusivo appannaggio della biomassa legnosa, in particolare di quella proveniente dai comparti di prima e seconda lavorazione del legno.

LE BIOMASSE COMBUSTIBILI ALLO STATO LIQUIDO

Oli vegetali

Gli oli vegetali sono combustibili a tutti gli effetti che senza ulteriori modifiche vengono estratti dai semi di colza e girasole, come tali quindi, possono trovare impiego nel settore energetico analogamente a quanto avviene per i combustibili liquidi di origine fossile.

Attualmente vengono utilizzate nei motori diesel. L'alimentazione di impianti di produzione energetica in sostituzione al gasolio pone, invece, alcune problematiche: i bruciatori devono essere

parzialmente modificati per sopperire alla maggiore viscosità degli oli vegetali rispetto a quella del gasolio

La limitazione di questi combustibili, infatti, sta nell'essere troppo viscosi. Questo problema può essere superato mediante la trasformazione degli oli in biodiesel.

Biodiesel

Come biocarburante, il biodiesel presenta alcune proprietà simili a quelle del gasolio. I principali impieghi del biodiesel come prodotto energetico prevedono la sostituzione del gasolio per l'autotrazione dei mezzi dotati di motori diesel e per l'alimentazione delle caldaie e dei gruppi elettrogeni.

L'impiego del biodiesel come carburante per l'autotrazione appare particolarmente interessante sia perché è già teoricamente possibile alimentare i motori diesel attualmente in commercio con una miscela di gasolio e biodiesel, sia perché vi è attualmente un forte interesse da parte della Commissione Europea a sviluppare la filiera dei biocarburanti (ANPA, 2001).

Bioetanolo

Il bioetanolo è un carburante di origine vegetale, ottenuto dalla fermentazione alcolica di zuccheri e carboidrati più complessi, quali l'amido, la cellulosa e l'emicellulosa.

Per la produzione di questo tipo di combustibile è adatta la coltivazione dedicata di specie vegetali ad alto contenuto di zuccheri e carboidrati.

Le caratteristiche chimico-fisiche del bioetanolo lo rendono un carburante affine alla benzina, alla quale può essere miscelato o, in alcuni casi e mediante opportuni accorgimenti, sostituito per l'alimentazione degli autoveicoli (www.sicoter.it).

LE BIOMASSE COMBUSTIBILI ALLO STATO GASSOSO

Biogas

Il biogas è un combustibile ad elevato potere calorifico ($4.500-6.500 \text{ kcal/m}^3$ in funzione della composizione chimica del gas) ottenuto in seguito alla digestione anaerobica della sostanza organica.

L'energia racchiusa nei legami chimici dei composti organici viene infatti rilasciata durante il processo di degradazione e immagazzinata principalmente nelle molecole di metano (CH_4) che, insieme a quelle dell'anidride carbonica (CO_2), diventano le principali costituenti del biogas.

RACCOLTA DELLE BIOMASSE

Con la potatura dei frutteti si produce una quantità di biomassa fresca che va dai 20 ai 60 q/ha, quantitativo non trascurabile considerando la grande estensione che queste colture hanno nelle diverse regioni d'Italia (Spinelli, 2004).

Generalmente questa biomassa viene trinciata sul posto ed incorporata nel terreno. Quando questa tecnica è sconsigliata per ragioni fitosanitarie, il residuo di potatura viene allontanato dal campo per lo smaltimento. Tutto questo, implica delle spese più o meno elevate per lo smaltimento, a seconda dei procedimenti utilizzati dall'agricoltore.

Con la diffusione delle centrali a biomassa si apre un nuovo sbocco ai residui di potatura. In questo modo infatti, tali residui possono essere venduti per recuperare, almeno in parte, il costo delle operazioni (Boggia e Porceddu, 2006).

Alla luce di questo, è necessario quindi, organizzare un cantiere di raccolta che sia il più efficiente possibile, per ottenere un risultato economico accettabile.

MACCHINARI UTILIZZATI PER LA RACCOLTA

Per raccogliere il residuo in modo efficace, occorrono tecnologie efficienti e poco costose, alla portata dell'imprenditore agricolo o del contoterzista.

La maggior parte delle macchine utilizzate deriva dalla modifica di attrezzature agricole destinate ad altre lavorazioni e sono progettate per raccogliere da terra le potature già disposte in andana, condizionandole poi in modo opportuno.

È il tipo di condizionamento, infatti, che distingue le due tipologie principali di attrezzature:

- imballatrici
- trinciacaricatrici.

Nel primo caso i mezzi disponibili provengono da macchine per la raccolta dei foraggi, mentre nel secondo caso da trincia sarmenti modificate (Boggia e Porceddu, 2006).

Oltre alle caratteristiche tecniche delle macchine, utili per la scelta, non bisogna dimenticare la tipologia del prodotto finale.

Le imballatrici.

In generale, le imballatrici sono delle macchine capaci di “confezionare” il materiale in balle di varia forma e dimensione e si distinguono in tre gruppi:

- ✓ parallelepipedo standard,
- ✓ rotoimballatrici standard
- ✓ rotoimballatrici leggere.

Le *imballatrici parallelepipedo* standard sono delle pressa-foraggi modificate.

Queste confezionano balle a forma di parallelepipedo tramite un normale dispositivo a stantuffo con moto rettilineo alternativo. Sono macchine leggere, che vengono applicate ad un trattore agricolo da 40-60 kW.

Le balle ottenute da tali macchine hanno dimensioni variabili, ma tutte vicine ai valori standard di 45 x 35 x 70 cm. Il peso di queste balle varia dai 20 ai 40 kg, in funzione del tipo di materiale che viene raccolto e della sua umidità (Spinelli e Magagnotti, 2006).



Foto 1 - Esempio di imballatrice parallelepipedo per la raccolta di sarmenti e ramaglie. (Mondo Macchina n°3/2006).

Le *rotoimballatrici standard* impiegate per raccogliere i residui di potatura, producono balle molto più grosse delle imballatrici parallelepipedo e devono essere movimentate con un trattore munito di forca. Le grandi dimensioni di tale macchinario e il peso di oltre cinque quintali, necessitano di spazi di manovra adeguati. Le balle prodotte, hanno diametri di 1,5 m, per un volume totale di oltre

2 m³ ed un peso unitario variabile dai 550 ai 700 kg. In questo caso tutto il lavoro viene effettuato dal solo trattorista con l'aiuto di un computer che controlla tutte le funzioni della macchina.



Foto 2 – Rotoimballatrice. (*Mondo Macchina* n°3/2006).

Le *rotoimballatrici leggere* sono basate sullo stesso principio di funzionamento dei modelli standard cercando di rimediare ai problemi di ingombro attraverso una generale miniaturizzazione del macchinario.

Il peso della macchina, infatti, è molto ridotto e viene azionata attraverso un trattore da frutteto capace di erogare una potenza di 25-30 kW. Alcuni di questi modelli possono addirittura essere applicati ad un motocoltivatore per poter entrare anche negli interfila più stretti.

A seconda del tipo di materiale raccolto, le balle pesano dai 30 ai 40 kg (Spinelli e Magagnotti, 2006).



Foto 3 - Rotoimballatrice montata su motocoltivatore Light. (Mondo Macchina n°3/2006).



Foto 4 – Minirotimballatrice. (Mondo Macchina n°3/2006).

L'imballatura offre vantaggi estremamente importanti sulla movimentazione e stoccaggio.

Il materiale ottenuto attraverso tale processo, non presenta grandi problemi di conservabilità, infatti, rispetto ad altri materiali come il trinciato, la balle è costituita da rami di varie dimensioni con un grado di compattazione tale da consentire il loro arieggiamento. Questo permette di non avere problemi di fermentazione e quindi il suo stoccaggio può essere prolungato nel tempo.

Inoltre, la movimentazione del residuo è facilitata poiché se ne diminuisce l'ingombro e lo si organizza in forme e dimensioni omogenee, per questo motivo le balle occupano meno spazio del residuo sciolto. Grazie a queste caratteristiche ed alla possibilità di stoccare questo materiale in assenza di una preventiva stagionatura in campo, l'imballatura è la tecnica più utilizzata.

Le trinciacaricatrici.

L'impiego di tali macchinari, in Europa, non ha avuto ancora grande successo commerciale, nonostante siano in grado di semplificare la logistica di recupero dei residui di potatura.

Possiamo distinguere tre tipologie principali di trinciacaricatrici:

- ✓ trinciasarmenti modificate
- ✓ sminuzzatrici modificate
- ✓ potaraccoglitori.

Le *trinciasarmenti modificate* sono normali trinciasarmenti a mazze, alle quali è stato applicato un contenitore ribaltabile verso cui mandare il materiale trinciato.

Questo macchinario, oltre a trinciare i sarmenti, utilizza un rotore a mazze che produce un flusso di aria capace di spingere il trinciato verso il contenitore ribaltabile, con capacità compresa tra i 2 e i 7 metri cubi.

La potenza richiesta per il funzionamento di tali macchine varia dai 40 ai 70 kW in base al modello e sono capaci di trattare ramaglia con un diametro massimo attorno ai 5 cm (Spinelli, 2004).

Le trinciasarmenti modificate furono pensate per l'applicazione frontale di un pickup capace di sollevare i sarmenti prima di inviarli alle mazze, in modo da evitare il contatto delle stesse con le pietre e quindi il loro danneggiamento. Per il recupero della biomassa, questa configurazione è rimasta, perché favorevole alla qualità del cippato, dato che la lavorazione sopraelevata evita la contaminazione del legname da parte di erba e terra.



Foto 5 – Trinciasarmenti. (*L'Informatore Agrario* n°22/2006).

Le *sminuzzatrici modificate* sono macchine molto simili alle trinciasarmenti modificate che anziché ridurre il residuo utilizzando delle mazze, lo fanno sfruttando un set di lame. La macchina consiste in un tamburo oppure un disco sminuzzatore, a cui è applicato un pick-up per la raccolta delle ramaglie (Spinelli e Magagnotti, 2006).



Foto 6 e 7 – Esempi di *sminuzzatrici modificate*. (Mondo Macchina n°3/2006).

La *potaraccoglitrice* è una macchina capace di effettuare potatura, trinciatura e trasporto in un solo passaggio.

La lavorazione in cantieri riuniti consente una grande efficienza operativa.

La base è costituita da una piattaforma gommata, con motore da 150 kW. Sopra questa piattaforma sono montati la cabina e gli organi di lavoro, quali: potatrice, tritratore, convogliatori e cassone.

La potatura viene eseguita mediante dischi applicati ad un braccio idraulico, posto sul lato destro del macchinario. I rami cadono in una vasca montata davanti alla macchina. A questo punto il convogliatore, invia le potature alla camera di triturazione. Infine il prodotto finale viene convogliato verso un contenitore montato posteriormente con una capacità di circa 10 m³ (Spinelli, 2004).



Foto 8 – *Potaraccoglitrice per la potatura, trinciatura e raccolta automatica dei rami*. (Mondo Macchina, n°3/2006).

Grazie a questo sistema di raccolta il materiale non viene mai a contatto con il terreno e quindi si evitano contaminazioni.

Il punto debole di questa tecnica, sta nella produzione di materiale fresco. La lavorazione a cantieri riuniti, infatti, impedisce il periodo di stagionatura tra il taglio e la trinciatura. Questo può essere mitigato con una logistica attenta, che permetta di ridurre al minimo il tempo di stoccaggio.

Il materiale trinciato ottenuto dalla frantumazione del prodotto presente sul campo, al momento della raccolta ha generalmente un'umidità dell'ordine del 50%. Con queste caratteristiche, se il prodotto viene stoccato in grandi cumuli, può facilmente andare incontro a fenomeni di fermentazione. Questo rischia di portare alla perdita del materiale cippato; pertanto il trinciato va stoccato in piccoli cumuli ed in locali ben areati (Boggia e Porceddu, 2006).

Inoltre il trinciato, presentandosi sfuso e costituito da elementi di minori dimensioni, può essere trasportato più facilmente in maniera automatica, quasi fosse un fluido (Spinelli, 2003).

Anche il problema relativo alla scarsa conservabilità del cippato può essere risolto abbastanza agevolmente, lasciando asciugare i residui di potatura in campo prima di effettuare la sminuzzatura.

Il recupero dei residui di potatura a scopo energetico, può offrire agli agricoltori un'interessante opportunità di reddito, aiutandoli anche a risolvere il problema del loro smaltimento. Per ottenere il massimo vantaggio, in questo senso, occorre organizzare dei cantieri di raccolta il più efficienti possibile.

Le cippatrici.

Sul mercato italiano esistono cippatrici di varia potenza in grado di lavorare legname di diversa qualità e dimensione (fino a diametri di 30 cm) sia automotrici, sia portate da trattori agricoli.

Queste macchine si distinguono per il sistema di taglio che può essere a disco, più diffuso e usato nelle cippatrici portate di piccole potenze, oppure a tamburo, disponibili in versioni molto pesanti e potenti (Spinelli e Magagnotti, 2006).

Nella *foto 10*, possiamo notare il prodotto finito di tale macchina, il cippato. Esso ha una pezzatura influenzata dal materiale di partenza, per cui rimane caratterizzante la presenza di mozziconi di rametti di olivo ben riconoscibili tal quali e lunghi circa 5-15 cm (Progetto PROBIO - WOODLAND ENERGY, 2006).



Foto 9 – Cippatrice. (Progetto PROBIO - WOODLAND ENERGY, 2006).



Foto 10 – Esempio di materiale cippato. (Progetto PROBIO - WOODLAND ENERGY, 2006).

Le falciatrici.

Con l'affermazione dell'inerbimento totale, le falciatrici, hanno ottenuto un crescente interesse nella gestione dei frutteti. Tali macchine, prevalentemente trasportate attraverso l'attacco a tre punti della trattrice, sono caratterizzati da due, tre o quattro dispositivi di taglio a lame orizzontali. Queste lame ruotano su un'asse verticale, l'ultimo dei quali, esterno e laterale, viene spesso dotato di dispositivo rientrante con funzione scavallatrice per tronchi e pali. La cura nel posizionamento della protezione esterna dei dispositivi rientranti rappresenta un valido accorgimento per la riduzione del pericolo di danneggiamento dei fusti (*foto 11*).

La semplicità costruttiva e la buona capacità di lavoro di queste macchine, hanno suscitato un certo interesse da parte di coltivatori che, per esigenze gestionali quali l'adesione a disciplinari di produzione meno impattanti, scelte produttive, limitazione dell'erosione, ecc., hanno eliminato la lavorazione del terreno e l'impiego di diserbanti chimici (Assirelli, 2006).



Foto 11 – Tagliaerba dimensionati alle esigenze dei moderni sesti d'impianto. (*L'Informatore Agrario* n°22/2006).

LE PROPRIETA' DEI RESIDUI DI POTATURA

La sostanza organica nel suolo è considerata come uno dei principali fattori che contribuiscono a migliorare la qualità del suolo. Per questo motivo la gestione del suolo avviene attraverso interventi volti a mantenere ed incrementare la quantità di carbonio nel terreno (Celano et al., 2002).

Questo tipo di gestione:

- ✓ permette di far sviluppare all'agricoltura alimenti di elevata qualità globale attraverso produzioni biologiche ed integrate
- ✓ permette di difendere il suolo dall'alcalinizzazione, dalla salificazione ed erosione
- ✓ permette di tutelare falde profonde, paesaggio e i cosiddetti "sink" di carbonio atmosferico che portano all'attenuazione del fenomeno dell'effetto serra.

La capacità di mantenere ed accumulare la sostanza organica nel suolo, dipende dalle piante di copertura, dal clima, dalla gestione del suolo e soprattutto dall'entità della qualità del materiale organico aggiunto.

Viene così definito da Swift nel 1985 la "qualità" del residuo come carattere intrinseco di una risorsa o come fattori che influiscono sull'entità della decomposizione. Questa è influenzata principalmente dal rapporto C/N e dal contenuto in sostanze, come la lignina e altri prodotti fenolici, molto resistenti alla degradazione, così come si può riscontrare in *tabella 9* (Palese et al., 2005).

QUALITA' DEL RESIDUO VEGETALE	C/N	LIGNINA/N
Altamente decomponibile	<18	<5
Moderatamente decomponibile	18-27	5-7
A lenta decomposizione	28-60	7,5-15
A minima decomposizione	>60	>15

Tabella 9 - *Classificazione generale della qualità dei residui vegetali basata su differenti indici di qualità. (Palese et al., 2005).*

Per questo motivo vengono classificati i vari materiali organici come:

- materiale di bassa qualità: caratterizzati da elevato contenuto in lignina o polifenoli e/o basso contenuto in azoto ($C/N > 25$) che sono caratterizzati da lenta decomposizione e si rendono utili per l'incremento del tenore in sostanza organica nel suolo (Swift, 1985).
- materiale di elevata qualità: caratterizzati da ridotti tenori di prodotti "recalcitranti" alla decomposizione, elevate percentuali di azoto e basso rapporto C/N, di rapida

decomposizione con elevato rilascio di azoto minerale nel suolo che non sempre è sincronizzato con le esigenze nutrizionali della coltura arborea (Swift, 1985).

Nella *tabella 10* si riporta una valutazione della qualità di diverse tipologie di residui vegetali.

Tipologia di residuo vegetale	C/N	Lignina/N	Qualità del residuo vegetale
Materiale di potatura (branche)	62	25	a minima decomposizione
Materiale di potatura (rametti e foglie)	40	13	a lenta decomposizione
Veccia	16	3	ad elevata decomposizione

Tabella 10 – *Qualità di diversi tipi di residui vegetali. (Palese et al., 2005).*

Un apporto iniziale di residui organici di bassa qualità, comporta quindi un lento rilascio di elementi nutritivi associato ad una ridotta degradazione.

Aggiunte di questo tipo, ripetute nel tempo, avrebbero come conseguenza un incremento nel tenore di sostanza organica e nella cessione degli elementi nutritivi. Con apporti periodici al terreno di residui di potatura di piante arboree, contenenti uguali quantitativi azotati di bassa ed elevata qualità, questi raggiungerebbero l'equilibrio dopo 66 e 333 settimane rispettivamente (Cadish e Giller, 2001).

Il materiale di bassa qualità, inoltre, darebbe inferiori oscillazioni nei valori di rilascio di azoto ed una maggiore entità dello “stock” di residui rispetto ai substrati di elevata qualità.

Questo tipo di comportamento darebbe la possibilità di avere molti più vantaggi dal punto di vista gestionale e quindi inferiori possibilità di errori nella nutrizione, maggior integrazione con i sistemi di fertirrigazione ed una maggiore capacità tamponante del sistema nei confronti di temporanei mancati apporti organici.

I residui facilmente degradabili invece, liberano un'elevata quantità di elementi nutritivi già nel primo anno di aggiunta al suolo, con forti oscillazioni stagionali.

Da studi effettuati in un albicocchetto in ambiente mediterraneo, l'interramento di quattro tonnellate di sostanza secca di biomasse vegetali di veloce degradazione (N = 2,5%, materiale organico di elevata qualità facilmente mineralizzabile) possono rendere disponibile nel corso del I anno fino al 60% (60 kg/ha), nel II anno il 20% e nel III anno il 10% del loro contenuto in azoto totale. Nonostante tale rilascio di nutritivi sia consistente, quasi mai incontra pienamente la domanda della coltura arborea in piena produzione, che ha un'esigenza annuale azotata pari a circa 80-100 kg N/ha (Celano et al., 2002).

All'inizio della primavera, infatti, si possono presentare grosse carenze di disponibilità nutritive per la pianta, rispetto ad un periodo autunnale in cui l'azoto minerale presente nel suolo in quantità superiore a quella necessaria alla coltura, viene persa attraverso processi di lisciviazione.

I residui di elevata qualità svolgono una funzione nutrizionale nel breve periodo, scarsamente utile all'aumento della sostanza organica nel suolo. I residui di bassa qualità invece, difficilmente rilasciano nel breve periodo, elementi nutritivi nei tempi e nelle quantità necessarie alle esigenze delle piante, possono però contribuire alla formazione della sostanza organica nel suolo ed assicurarne il mantenimento e l'incremento del livello di questa (Celano et al., 2002).

Esistono poi combinazioni colturali di "qualità intermedia" come graminacee/leguminose che hanno un duplice obiettivo, e cioè quello di svolgere sia una funzione nutritiva immediata nei confronti della coltura, sia quella di conservazione della sostanza organica del suolo.

Nella gestione della sostanza organica nel suolo di un agroecosistema è importante utilizzare materiale derivante da diversi tipi di matrici. Questa necessità serve per evitare fenomeni di stanchezza del terreno che frequentemente compaiono dopo l'apporto dello stesso tipo di sostanza organica per una serie di anni consecutivi (Palese et al., 2005).

Come possiamo notare dai dati raccolti in *tabella 11*, la combinazione di materiale vegetale dalle caratteristiche qualitative differenti permette l'ottenimento di un miscuglio di qualità "mista", che mineralizza con una velocità intermedia rispetto al materiale organico preso singolarmente. La minore mineralizzazione della combinazione leguminosa/materiale di potatura rispetto alla sola leguminosa, sarebbe attribuibile non solo al rapporto C/N, ma anche ad una "maggiore complessità del substrato" per la biomassa microbica del suolo (Palese et al., 2005).

Tipologia di residuo vegetale	Sostanza secca (kg/ha/anno)	C (%)	Lignina (%)	N (%)	C/N	Lignina/N	Qualità del residuo vegetale
Materiale di potatura	2500	48,5	17,7	1,0	47,8	17,4	A lenta/minima decomposizione
Veccia	4000	45,0	8,0	2,8	16,1	2,9	Altamente decomponibile
Miscuglio di veccia e materiale di potatura	6500	46,3	11,7	2,1	21,9	5,5	Moderatamente decomponibile

Tabella 11 – *Residuo vegetale e sue caratteristiche. (Palese et al., 2005).*

L'uso di concimi verdi, migliora l'accumulo della sostanza organica nel suolo e può anche stabilizzare quella già presente.

Materiali di potatura e foglie morte possono essere utilizzate per migliorare le proprietà fisiche, chimiche e biologiche, incluso la capacità di ritenzione idrica e la disponibilità di nutrienti.

L'introduzione di una gestione di raccolta di residui, una coltivazione di conservazione, una restaurazione del suolo e altre pratiche di agricoltura sostenibile, permetterebbero al suolo di mantenere livelli ridotti di mineralizzazione ed erosione.

LA GESTIONE DEI RESIDUI DI POTATURA

L'asportazione e la gestione del legno di potatura della vite, dell'olivo o dei frutteti, oltre a limitare la diffusione di alcune malattie, offre nuove possibilità di utilizzo del legno a fini energetici. Accanto alla tradizionale pratica di raccolta e bruciatura fuori campo ed alla possibile trinciatura ed interrimento, si diffondono i metodi per la produzione di compost e la raccolta a fini energetici.

RACCOLTA E BRUCIATURA A BORDO CAMPO

La raccolta dei residui di potatura avviene attraverso macchinari adatti allo scopo. Queste possono essere delle trattrici, rotoimballatrici, trincia-raccoglitrice, a seconda del tipo di materiale che deve essere raccolto e dell'uso che se ne deve fare (Corradi, 2007).

I vantaggi della raccolta e bruciatura dei sarmenti consistono nell'impiego di attrezzature economiche e nella possibilità di asportare anche residui di grossi tagli, che comportano la presenza di porzioni di legno di difficile trinciatura.

Esistono però, anche diversi aspetti negativi:

- ✓ maggiori tempi di lavoro soprattutto nei filari lunghi;
- ✓ difficoltà legate all'impiego di trattrici per vigneto che hanno un'altezza da terra non sufficiente;
- ✓ vicinanza a strade o centri abitati che impedisce di attuare la bruciatura;
- ✓ norme comunali in materia, che spesso già limitano o vietano questa operazione;
- ✓ necessità di predisporre uno spiazzo adeguato alla bruciatura;
- ✓ perdita di una quota di sostanza organica e di elementi fertilizzanti che potrebbero trovare utilizzi più consoni;
- ✓ emissione di CO₂, fumi e altre sostanze nell'atmosfera.

Quando si bruciano le biomasse, estraendone l'energia immagazzinata nei componenti chimici, l'ossigeno presente nell'atmosfera si combina con il carbonio delle piante e produce, tra l'altro, anidride carbonica, uno dei principali gas responsabili dell'effetto serra.

Tuttavia, la stessa quantità di anidride carbonica viene assorbita dall'atmosfera durante la crescita di altre piante.

Il processo è ciclico. Fino a quando le biomasse bruciate sono rimpiazzate con nuove biomasse, l'immissione netta di anidride carbonica nell'atmosfera è nulla.

Questo genere di smaltimento dei residui di potatura è in netta contrapposizione con quanto espressamente dichiarato dal Decreto Legislativo n°22/97 (Decreto Ronchi).

TRINCIATURA IN CAMPO E INTERRAMENTO

Quando non esistono problemi di tipo fitosanitario che rendano consigliabile l'asportazione del legno di potatura, questa tecnica è la più semplice e veloce e per questo motivo economica, che permette anche la restituzione di sostanze fertilizzanti al terreno.

Caratteristiche negative:

- ✓ Produzione di CO₂ legata all'utilizzo di trinciatrici;
- ✓ Costi dei macchinari;
- ✓ Consumo immediato di N per degradazione dei residui;
- ✓ Aumento emissioni CO₂ attribuibile alla degradazione dei residui di potatura ed all'incremento della mineralizzazione della sostanza organica umificata (*figura 4*).

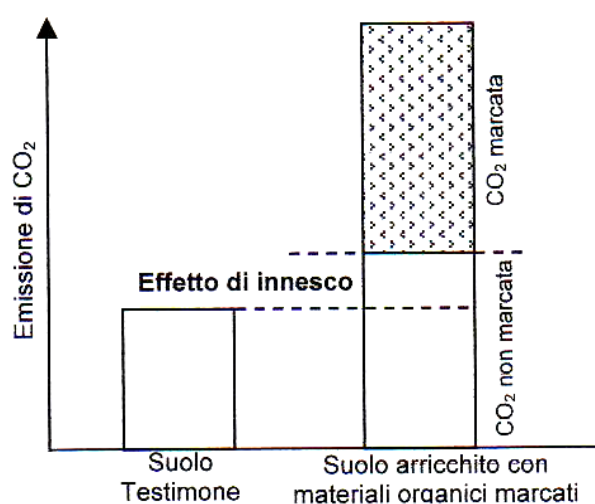


Figura 4 – L'effetto di "innesco" (Sequi, 1989).

Un esempio di consumo di N si può calcolare su un impianto adulto in piena produzione, a seconda che si esegua una potatura leggera o di media intensità, vengono asportati rispettivamente circa 7 o 15 kg di ramaglia per pianta. Considerando l'intero oliveto (300 piante/ha): 2.100 kg o 4.500 kg. Si tratta di sostanza organica che, se reintegrata nel terreno, considerando un coefficiente isoumico pari a 0,15, apporterebbe rispettivamente circa 315 o 675 kg di humus.

Un reintegro di sostanza organica tutt'altro che trascurabile. Per arrivare a fornire al nostro oliveto queste quantità di humus sarebbero necessari quintali di concimi misto organici. Infatti i microrganismi responsabili della degradazione e dell'umificazione della sostanza organica hanno necessità di un rapporto C/N vicino a 10. Nel piano di concimazione andrà quindi anche considerata questa voce di "asportazione" ed è utile prevedere un apporto di 1 kg di azoto per quintale di residui di potatura. È evidente che la trinciatura e il successivo interrimento dei residui di potatura

dell'oliveto porta a indubbi benefici, oltre che sulla fertilità agronomica del suolo, anche per il bilancio aziendale (Sofo et al., 2004).

Per tamponare gli effetti negativi di questa tecnica, possiamo affiancarvi quella del sovescio o dell'inerbimento. Delle due tecniche molto simili fra loro, andremo a sviluppare quella dell'inerbimento. La tecnica del sovescio infatti, necessita, seppur in minima parte, di lavorazioni di rivoltamento e affinamento del terreno, che portano allo sviluppo di CO₂. Con l'effetto pacciamante dell'inerbimento, invece, questo non avviene.

Ancora oggi, la gestione del suolo in molti ambienti agricoli, consiste in ripetute lavorazioni meccaniche effettuate allo scopo di interrare concimi minerali ed organici, eliminare le erbe infestanti, aumentare la ritenzione idrica e, in certe circostanze, limitare la diffusione di agenti patogeni (Toscano et al., 2006).

Nel medio e lungo periodo però, è opportuno tener presente, che si può andare incontro ad un continuo impoverimento del contenuto in sostanza organica, determinando un peggioramento delle condizioni strutturali del suolo e di conseguenza anche della porosità (Loreti, 2002).

Per garantire la conservazione e il miglioramento della fertilità del suolo, senza penalizzare la qualità dei prodotti e la redditività delle colture è preferibile utilizzare tecniche colturali più sostenibili. In alternativa ai tradizionali metodi di lavorazione meccanica del suolo (aratura, fresatura, erpicatura), un'adeguata gestione dell'inerbimento controllato, produce vantaggi sia nella riduzione dei costi, per il minor fabbisogno energetico, sia per i benefici ambientali, migliorando la struttura del terreno, la regimazione idrica, controllando l'erosione e incrementando il contenuto in sostanza organica. Al contrario, una gestione inadeguata dell'inerbimento, comporta fenomeni di competizione per l'acqua e per i nutrienti nei confronti della coltura principale (*foto 12 e 13*) (Toscano et al., 2006).



Foto 12 e 13 – Esempi di inerbimento incontrollato. (*L'Informatore Agrario* n°21/2006)

L'inerbimento

È una tecnica di lavorazione del terreno basata sul mantenimento nell'arboreto di un prato costituito da vegetazione spontanea, oppure mediante la semina di essenze erbacee (graminacee e leguminose). La crescita del coticco erboso è regolamentata attraverso periodici sfalci, con i quali l'erba tagliata rimane in loco a costituire uno strato pacciamante che riduce le perdite d'acqua dal terreno per evaporazione, va incontro a processi più o meno rapidi di decomposizione e rallenta la crescita della vegetazione (Loreti et al., 1999).

Vengono a distinguersi diverse modalità d'inerbimento a seconda che la superficie dell'arboreto sia parzialmente o totalmente inerbita, o che la presenza del prato sia limitata ad alcuni mesi (temporanea) o a tutto l'anno (permanente).

Parzialmente inerbito

E' la tecnica più diffusa che consiste nell'inerbire soltanto la striscia di terreno interfilare interessata dal transito delle macchine agricole, mentre il filare viene solitamente mantenuto privo di vegetazione attraverso le lavorazioni o il diserbo chimico. In funzione delle caratteristiche pedoclimatiche della zona, dei sesti d'impianto prescelti, dell'età e del vigore degli alberi coltivati e dell'ampiezza della carreggiata delle macchine, viene stabilita l'ampiezza della superficie non inerbita, che generalmente corrisponde al 20-40% della superficie totale.

Totalmente inerbito

Modalità meno diffusa per questa tecnica, viene adottata nei casi di elevato rischio di erosione del suolo, di eccellente disposizione idrica e nutrizionale del terreno e nel caso in cui si desideri contenere gli eccessi di vigore delle piante coltivate (Gagliano et al., 2008). Infatti, l'inerbimento si presenta anche lungo il filare (*foto 14*).



Foto 14 – *Esempio d'inerbimento totale. (Supplemento a L'informatore Agrario n°10/2008).*

Temporaneamente inerbito

Questa tecnica viene attuata in zone in cui si dispone di risorse idriche limitate. Infatti, per evitare un'eccessiva competizione per l'acqua da parte del prato e dell'arboreto, è prevista l'eliminazione del cotico erboso nei mesi più caldi e siccitosi. Questo avviene in molte aree dell'Italia meridionale, dove l'inerbimento temporaneo può rappresentare un valido compromesso tra la lavorazione e l'inerbimento permanente. Tale tecnica, infatti, consente di ottenere, anche se solo parzialmente, i vantaggi della presenza del cotico erboso, limitandone gli aspetti negativi. L'eliminazione dell'inerbimento nell'arboreto avviene attraverso la lavorazione del terreno, eseguita generalmente da trinciatura e interrimento della biomassa attraverso sovescio con successiva leggera lavorazione mediante erpice a dischi (Toscano et al., 2006).

Permanentemente inerbito

In passato, la tecnica dell'inerbimento veniva utilizzata principalmente per preservare i terreni in pendio dall'azione erosiva dell'acqua e del vento. Infatti, i fenomeni erosivi, sono la causa di perdite molto ingenti che ogni anno ammontano a diverse decine di tonnellate di terra all'anno. Per questo motivo, l'inerbimento permanente è maggiormente utilizzato laddove le condizioni climatiche sono caratterizzate da intense precipitazioni.

Vantaggi nell'applicazione dell'inerbimento

- Proteggere la struttura del suolo dall'azione diretta della pioggia, diminuendo la violenza d'impatto con la superficie del terreno e quindi l'erosione.



Foto 15 – *Erosione del terreno dovuta alla mancata presenza di inerbimento.*
(Supplemento a L'informatore Agrario n°10/2008)

- Ridurre la perdita di suolo grazie agli apparati radicali che trattengono saldamente il terreno.
- Consentire una più rapida e migliore infiltrazione dell'acqua di pioggia, contenendo fino ad oltre 5-6 volte, rispetto ai terreni lavorati, i fenomeni di ruscellamento che si accompagnano ad eventi piovosi particolarmente intensi (Loreti et al., 1999).
- Aumentare la portanza del terreno, riducendo i rischi di costipamento del suolo al conseguente transito delle macchine agricole, particolarmente aggravato in corrispondenza della carreggiata.

Questo vantaggio diventa più evidente quando il personale ha la necessità di accedere tempestivamente nell'arboreto con i macchinari usati per la raccolta anche in presenza di terreno bagnato, soprattutto se caratterizzato da componente argillosa. In mancanza d'inerbimento, le avverse condizioni atmosferiche, potrebbero altrimenti ostacolare la loro esecuzione (Loreti, 2002). L'aumento della portanza in un terreno inerbito è imputabile al fatto che l'acqua è maggiormente utilizzata dal cotico erboso ed è presente una migliore infiltrazione negli strati più profondi (*figura 5*).

- Salvaguardare e migliorare le proprietà fisiche, chimiche e biologiche del suolo e quindi migliorare la sua fertilità.

Questo aspetto è divenuto molto importante in agricoltura, per ridurre il suo impatto ambientale, mentre in passato era sempre ritenuto trascurabile nella tecnica convenzionale, che permetteva di

modificare l'ambiente agrario per consentire alla pianta coltivata di raggiungere le sue massime potenzialità produttive. Come conseguenza negativa infatti, si è ottenuto spesso uno stato di progressivo depauperamento della disponibilità della sostanza organica nel terreno e di conseguenza il degrado della sua fertilità (Loreti et al., 1999).

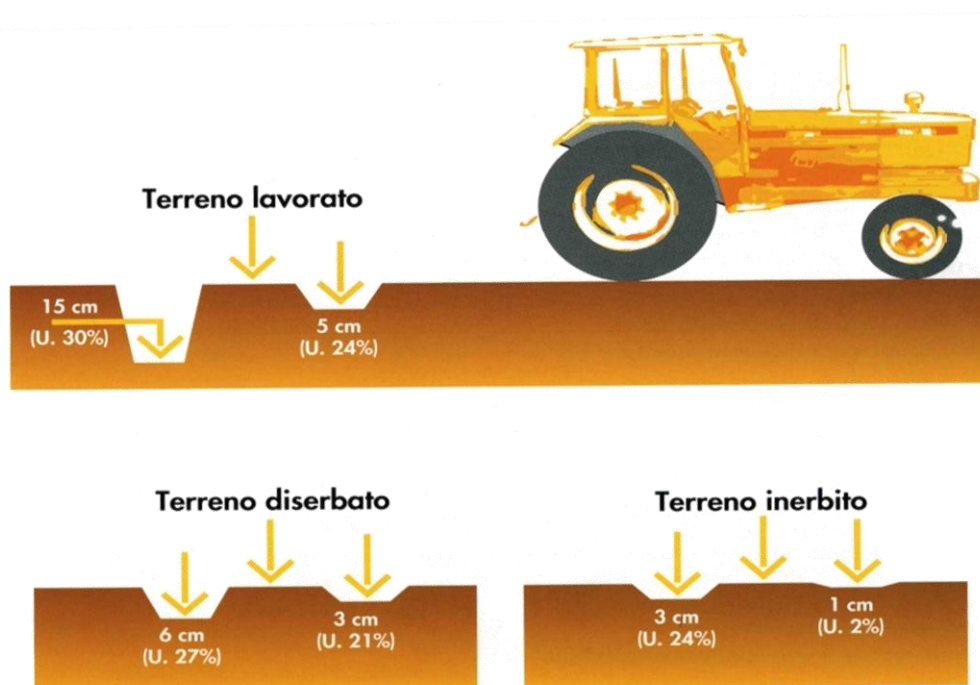


Figura 5 - La gestione del terreno in arboricoltura. (Progetto Editoriale P.A.N.D.A., 1999)

Svantaggi nell'applicazione dell'inerbimento

Il prato deve essere considerato come una coltura secondaria in consociazione con l'arboreto. Infatti, esso può entrare in competizione con la coltura principale per le risorse del suolo, in particolare quelle idriche e nutritive. Caratterizzato da maggiore biomassa radicale per unità di volume di terreno, il prato risulta essere il favorito in tale competizione.

- **Competizione idrica:**

il bilancio di un arboreto inerbito deve includere anche la quota d'acqua evapotraspirata dal prato, in genere quantificata intorno al 20-30% in più di quanto necessario per un terreno lavorato. Lo strato più superficiale del terreno è quello che risente in misura maggiore delle differenze nel contenuto di umidità derivanti da una diversa tecnica di gestione del suolo. Questo aspetto rappresenta un grosso limite all'introduzione dell'inerbimento in quegli ambienti nei quali le precipitazioni sono scarse o assenti nel periodo primaverile/estivo o nei casi di insufficiente disponibilità di acqua irrigua.

- **Competizione nutritiva:**

nei primi anni insediamento del cotico è necessario intervenire con una concimazione supplementare. La competizione per le riserve nutritive del terreno, in particolar modo quelle azotate, può infatti avere effetti negativi sulla crescita e sulla produttività della coltura principale. Nel caso in cui si presentino condizioni per uno sviluppo vegetativo eccessivo dell'arboreto, l'effetto della competizione sul contenimento delle dimensioni delle piante può essere considerato addirittura auspicabile. Così come avviene per vigneti di qualità in zone di produzione D.O.C, livelli produttivi eccessivamente elevati possono costituire un problema in quanto deprezzano il prodotto finale diminuendone la qualità. Con la riduzione della vigoria, invece, si ha un conseguente miglioramento del microclima della chioma e dello stato sanitario delle uve, e un tendenziale abbassamento delle rese, al quale è legato un miglioramento della qualità del prodotto, determinato anche da un più elevato rapporto tra superficie fogliare e prodotto pendente (Centinari e Allegro, 2004).

- **Aumento dei rischi di gelate:**

nei terreni inerbiti la temperatura dell'aria in prossimità della superficie del suolo tende ad essere più bassa rispetto ai terreni lavorati. Questo è dovuto al rallentamento del passaggio di calore dal suolo all'atmosfera per la presenza del cotico erboso. Dato che tali differenze di temperature possono essere di 2-3 gradi in meno rispetto ad un terreno privo di vegetazione la presenza dell'inerbimento può aumentare i rischi di gelate. Per questo motivo è consigliabile effettuare una rasatura d'erba molto corto in prossimità della fioritura dell'arboreto.

- **Attacchi di agenti parassitari:**

l'effetto esercitato sul terreno, da uno strato di vegetazione pacciamante o dalla presenza dell'inerbimento, può portare allo sviluppo di alcuni agenti parassitari. In particolare la presenza di uno strato pacciamante può favorire l'insediamento di popolazioni di vertebrati, soprattutto topi, ai quali esso procura alimento e riparo (Tosi, 2006).

Inerbimento e sostanza organica

Questa tecnica può risultare efficace per la produzione in loco della sostanza organica. Una parte della massa vegetale che viene sfalcata è prontamente mineralizzata, mentre l'altra va incontro a processi di umificazione. Tali processi sono tanto più favoriti quanto più eterogenea è la composizione delle specie che costituiscono il prato e quanto più avanzato è lo stato di lignificazione dell'erba al momento dello sfalcio.

L'arricchimento della sostanza organica nel suolo riguarda, inizialmente, lo strato di suolo più superficiale, con il passare degli anni però, è riscontrabile anche a maggiori profondità, grazie al ciclico di rinnovamento delle radici del cotico erboso (Loreti, 2002).

Oltre all'aumento della sostanza organica nel suolo dovuto all'apporto degli sfalci ottenuti dall'inerbimento, si aggiunge quello dovuto alla trinciatura del legno di potatura. Inoltre tra i pescheti del Veronese, con lo sfruttamento dell'inerbimento parziale sono spariti i problemi di carenze nutrizionali e la sostanza organica è arrivata in molte aziende a sfiorare il 3%, consentendo la riduzione degli interventi di concimazione (Tosi, 2006).

COMPOST DI QUALITA'

Il compost viene definito come un fertilizzante organico biologicamente stabilizzato ottenuto dalla decomposizione naturale di scarti organici raccolti in modo selettivo, trattati secondo norme di igiene e sicurezza e nel rispetto delle normative italiane in materia di fertilizzanti.

Caratterizzato da un'elevata compatibilità con la pianta e dotato di:

- elementi nutritivi,
- ricco di sostanze umiche,
- elevate qualità fisiche,
- igienicamente sicuro,
- esente da semi vitali di infestanti e patogeni dannosi.

Presenta un aspetto granulare tipico del terriccio, buona stabilità, un'umidità del 30% circa e pH variabile tra 6 e 8,5.

Si tratta di un materiale inodore, in parte ricco di humus, in grado di apportare fertilità al terreno nel rispetto dell'ambiente e delle norme igienico sanitarie.

Il compost di qualità, sebbene assolva anche il ruolo di concime organico, poiché in grado di apportare al terreno i macro e micro elementi, è definito dal punto di vista legislativo un ammendante organico naturale ossia un "materiale da aggiungere al suolo, principalmente per conservarne o migliorarne le caratteristiche fisiche e/o chimiche e/o l'attività biologica". In tal senso l'ammendante si distingue dal concime, la cui funzione invece è quella di fornire elementi nutritivi alle piante (Progetto SICOTER, 2006).

Vengono definiti ammendanti organici quei fertilizzanti che hanno il compito di migliorare le proprietà fisiche e strutturali del suolo promuovendone inoltre le attività biologiche e consentendo, attraverso l'apporto di sostanza organica, di preservare nel lungo periodo la fertilità chimica, lo stato strutturale e la capacità di trattenere acqua ed elementi nutritivi in forma facilmente assimilabile. Tali materiali includono letami organici grezzi e varie tipologie di materiali compostali. Gli ammendanti possono assolvere il ruolo di condizionatori del suolo ma anche di pacciamanti e substrati di coltivazione e trapianto.

Materiale usato per formare il compost

L'ammendante organico rappresentato dal compost di qualità viene prodotto da materiali organici di scarto quali:

1. Scarti alimentari (scarto umido): residui della preparazione, trasformazione e consumo degli alimenti derivanti dalla raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani provenienti sia dalle piccole

utenze domestiche che dalle grandi utenze collettive e industriali. Viene compostato prevalentemente in miscela con lo scarto verde (www.compost.it).

2. Scarti verdi: residui di piante derivanti prevalentemente dalle opere di sfalcio e potatura della manutenzione del verde pubblico e privato e da scarti legnosi non trattati di origine industriale.

3. Fanghi: includono i fanghi biologici di depurazione, sia urbani che agro-alimentari, e le deiezioni zootecniche. Vengono utilizzati in minor misura per la produzione di compost a causa delle problematiche connesse al contenimento degli odori.

Le proprietà agronomiche del prodotto finale dipendono ampiamente dal tipo di matrice iniziale utilizzata, come si evince dalla *tabella 12*.

CARATTERISTICHE AGRONOMICHE DI BASE PER DIVERSI FERTILIZZANTI (valori medi)						
PARAMETRO	LETAMI	COMPOST DA SCARTI ALIMENTARI	COMPOST DA FANGHI BIOLOGICI	COMPOST DA SCARTI VERDI	TERRICCI TORBOSI	TORBE
Umidità (%s.t.q.)	65-80	40-55	40-55	40-55	40-50	40-50
N (%s.s)	2,2	1,79	1,78	1,07	/	0,86
P ₂ O ₅ (%s.s)	1,9	1,38	3,13	0,47	/	0,09
K ₂ O (%s.s)	1,7	1,26	0,67	0,42	/	0,08
TOC (%s.s)	35	25	24	22	50	39,7
pH	8,3	8,15	7,21	7,81	5,9	5,6
C.E.S (μS/cm)	2560	3730	2470	980	1860	440
S.V (%s.s)	55	49,48	48,67	43,63	64,96	83,81
Magnesio (%MgO)	/	1,53	1,23	1,08	/	0,16
Manganese (mg/Kg s.s)	/	294,32	273,23	303,32	/	63,17
Ferro (mg/Kg s.s)	/	13600	9490	2690	/	1480

Tabella 12 - *Le biomasse compostali: utilizzo del compost in agricoltura .*

(Centemero e Favoino, 2006)

Tipi di compost e loro impiego

Il compost di qualità, dopo esser stato sottoposto ai debiti controlli da parte delle autorità competenti ed aver soddisfatto i requisiti di qualità, secondo le indicazioni ed i limiti indicati nella legge sui fertilizzanti (D. Lgs. 217/06), viene immesso nel mercato degli ammendanti e commercializzato come:

Ammendante compostato verde (ACV): ottenuto mediante processo di trasformazione e stabilizzazione di rifiuti costituiti da scarti della manutenzione del verde ornamentale, residui delle colture, altri rifiuti di origine vegetale, con esclusione di alghe e di altre piante marine.

L'ammendante compostato verde possiede mediamente le seguenti caratteristiche:

- limitata salinità
- contenuto relativamente basso in elementi nutritivi (titolo NPK 1:0,5:0,5)
- buone caratteristiche fisiche (densità, porosità, ritenzione idrica)

- buona dotazione in sostanza organica.

(www.sicoter.it).

Tale caratterizzazione ne consente l'impiego, con ottimi risultati, in tutte le pratiche agronomiche e floro-vivaistiche, in buche di piantagione o in vaso, che prevedono un diretto contatto con la radice; è anche idoneo per la costituzione di terricci. Impiegato in pieno campo assolve azione ammendante in senso stretto, poiché presenta bassi valori di elementi nutritivi, assolvendo al compito di apportare e reintegrare il contenuto di sostanza organica umificata migliorando le proprietà fisico strutturali e biologiche del terreno.

Ammendante compostato misto (ACM): ottenuto mediante processo di trasformazione e stabilizzazione dei rifiuti organici costituiti dalla frazione organica dei Rifiuti Solidi Urbani (RSU) provenienti da raccolta differenziata, da rifiuti di origine animale compresi liquami zootecnici, da rifiuti di attività agroindustriale e da lavorazione del legno e del tessile naturale non trattati, da reflui e fanghi, nonché dalle matrici previste per l'ammendante compostato verde (Centemero e Favoino, 2006).

L'ammendante compostato misto così ottenuto dagli "scarti verdi" miscelati ad altre biomasse di origine alimentare recuperate attraverso la raccolta differenziata dei rifiuti, possiede mediamente le seguenti caratteristiche:

- elevata salinità
- buon apporto concimante (N-P-K e microelementi)
- rapporto equilibrato tra N, P e K (titolo 2:1,5:1,5)
- buona dotazione in sostanza organica

Grazie alle buone capacità fitonutritive, questo ammendante ha il compito di apportare e reintegrare macro e micro elementi aumentando il grado di fertilità chimica del terreno.

Utilizzato in orticoltura, colture da rinnovo o reimpianti in viticoltura e frutticoltura; ha un impiego limitato nelle attività florovivaistiche per l'elevato contenuto in sali solubili. Nonostante contenga una maggior dotazione di elementi nutritivi per la pianta, il compost misto, rispetto a quello verde, corre il rischio di non raggiungere i parametri qualitativi stabiliti per norma.

Ammendante torboso composto: ottenuto per miscela di torba con ammendante compostato verde e/o misto, trova sbocco soprattutto nell'agricoltura di pieno campo su colture intensive in sostituzione della tradizionale pratica della letamazione, e per la formulazione di terricci hobbystici. Vengono qui sotto riportate le percentuali delle diverse tipologie di ammendante prodotte nel 2006 (figura 6).

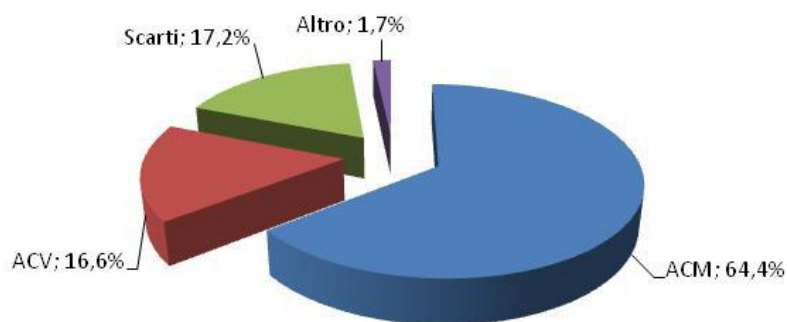


Figura 6 – Percentuale delle diverse tipologie di ammendante prodotte in Italia nel 2007. (APAT, 2007).

Il compost si presta a sostituire il letame in tutte le sue funzioni ed è in grado di diminuire il consumo di concimi di sintesi. Esso trova impiego in diverse attività, sia nei settori professionali che hobbistici.

Le principali sono:

- *Agricoltura estensiva*: il compost viene solitamente distribuito in pre-aratura su colture erbacee, quali cereali, foraggere, piante industriali; le dosi applicate variano da 20 a 35 t/ha, secondo il contenuto di sostanza organica e il grado di mineralizzazione del suolo.
- *Orticoltura specializzata*: i suoli che ospitano colture orticole, in serra o in pieno campo, data l'intensità colturale, tendono ad impoverirsi e richiedere ricarichi di sostanza organica elevati nell'ordine di 4-5 fertilizzazioni nell'arco di una stagione vegetativa (Progetto SICOTER, 2006).
- *Viticoltura e frutticoltura*: l'impiego di compost si può prevedere sia per la fertilizzazione organica in pre-impianto, che per la fertilizzazione interfilare in copertura; nel primo caso si distribuisce compost (30-40 t/ha) con aggiunta di concimi fosfopotassici interrandolo con le lavorazioni di scasso o aratura a 20-30 cm di profondità; nel secondo caso si distribuiscono 2-3 kg/m² di compost nell'interfila procedendo quindi ad una lavorazione sotto-superficiale (< 10 cm).

Il compostaggio

Il compostaggio è un processo biossidativo applicato su un substrato eterogeneo e solido che, in condizioni controllate ed attraverso l'intervento di microrganismi aerobi presenti nel terreno, trasforma la sostanza organica in un composto miscelato, chiamato appunto compost, con liberazione di calore, acqua e anidride carbonica.

Come l'humus naturale, anche il compost ha la funzione di ammendante e concime.

Il processo di compostaggio è di tipo conservativo dal punto di vista energetico poiché consente di mantenere nel compost un alto livello di carbonio, di cui è ben dotato, rispetto al materiale di partenza.

L'utilizzo degli scarti organici per la produzione di compost contribuisce in maniera significativa all'uso sostenibile delle risorse.

Questo processo, da una parte promuove il riciclo dei rifiuti, diminuendo la mole di materiale da avviare allo smaltimento, con il risultato di ridurre le emissioni di gas ad effetto serra, dall'altra permette di ridurre l'impiego di risorse non rinnovabili in agricoltura sostituendosi ai fertilizzanti chimici e incrementando il tasso di carbonio sequestrato dalla componente organica dei suoli (Palese et al., 2005).

In entrambi i casi, quindi, la produzione e l'impiego di compost è in grado di contribuire in maniera diretta alla riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra, favorendo il raggiungimento degli obiettivi del protocollo di Kyoto.

Questa tecnologia, se applicata correttamente, garantisce lo smaltimento totale ed ecologico della frazione organica biodegradabile ed il ritorno in agricoltura di un fertilizzante organico molto importante per mantenere integra la fertilità biologica dei suoli agrari.

Attraverso la messa a punto di un modello matematico, Enzo Favoino della Scuola Agraria del Parco di Monza e Dominic Hogg, del centro di ricerche Eunomia di Bristol, hanno calcolato che utilizzando il fertilizzante organico che si ricava dai rifiuti si sequestrerebbe, in termini di CO₂, l'1,3% in più di gas, una percentuale sei volte maggiore rispetto a quella dei fertilizzanti chimici. "Solo in Italia – scrivono gli autori – un aumento dello 0,15% del carbonio organico presente nel suolo, questo vorrebbe dire che è stata sequestrata la stessa quantità di gas emessi in un anno" (www.rinnovabili.it).

Inoltre si devono tener presenti altri aspetti importanti connessi all'impiego di compost. Con la sostituzione del compost ai tradizionali concimi chimici si è in grado di risparmiare la quota di emissioni di CO₂ oltre all'energia utilizzata per la sintesi e fabbricazione degli stessi.

Il conseguente miglioramento delle proprietà strutturali del terreno ottenute grazie all'utilizzo di compost, consente l'introduzione di pratiche di nulla o ridotta lavorazione del terreno con conseguente risparmio di combustibile e quindi emissioni legate all'uso di macchine agricole.

Infine, la migliorata capacità di ritenzione idrica del terreno dovuta all'uso di compost, consente di limitare i costi energetici e ambientali legati all'irrigazione.

Il compost contribuisce a garantire la conservazione della:

- **fertilità fisica:** attraverso l'apporto di sostanza organica si favorisce la permeabilità dei terreni, la strutturazione, lavorabilità, porosità, aerazione, drenaggio e ritenzione idrica diminuendone l'erosione. In suoli sabbiosi (costituzionalmente porosi) aumenta il potere assorbente mentre in quelli argillosi (pesanti e asfittici) ne ottimizza la permeabilità alle acque;
- **fertilità chimica:** grazie alla sua componente chimica, il compost, reintegra gli elementi sottratti dalle coltivazioni al terreno. E' inoltre capace di sottrarre tali elementi al dilavamento e di renderli disponibili con un lento e graduale rilascio nel terreno attraverso il processo di degradazione della componente organica (Palese et al., 2003). Infine, è in grado di rallentare, con un'azione adsorbente, le migrazioni di contaminanti nell'ambiente poiché, la sostanza organica apportata dal compost, diminuendo la disponibilità dei metalli pesanti, ne riduce il flusso (anche verso la catena alimentare);
- **fertilità biologica:** il compost potenzia le colture nella capacità di assimilazione dei componenti naturali dal suolo e migliora la facoltà di assorbimento dell'azoto da parte delle piante (accelerando il livello di mineralizzazione del terreno), grazie alla presenza di numerose colonie batteriche in esso contenute. Inoltre, la presenza di organismi saprofiti non patogeni, che hanno promosso la formazione del compost, conferisce al terreno una particolare refrattarietà alla colonizzazione di eventuali patogeni (potere repressivo) grazie anche ai meccanismi di antibiosi e competizione da parte dei saprofiti (Favoino e Centemero, 1993a).

I vantaggi dell'uso di compost

L'applicazione di compost consente di conseguire numerosi vantaggi sotto diversi aspetti:

- effetti positivi nel lungo periodo;
- azione sinergica con i concimi minerali;
- lento rilascio degli elementi della fertilità secondo le esigenze della pianta;
- limitazione nell'impiego di concimi chimici;
- azione positiva sul bilancio idrico con riduzione degli input idrici;
- riduzione dell'erosione e della desertificazione;
- riduzione delle malattie delle piante;
- stimolazione dell'attività radicale;
- stimolazione dell'attività microbica ed enzimatica (Progetto SICOTER, 2006).

Sistemi di compostaggio

Il processo di compostaggio viene attuato sia a livello domestico, con semplici compostiere, che a livello industriale, attraverso impianti di bio-conversione e bioessiccazione.

Vengono successivamente riportati i principali sistemi pratici di compostaggio che oggi esistono nel mercato.

Sistema aperto: è un sistema di tipo estensivo a bassa degradazione della biomassa; si distinguono il cumulo statico, ventilato, la ventilazione con feed back control, il rivoltato dinamico e la ventilazione con rivoltamento periodico.

Sistema chiuso: è un sistema intensivo ad elevata fermentescibilità della biomassa. In esso si ritrovano reattori orizzontali tra cui trincee, biocelle statiche e dinamiche, cilindri rotanti e biotunnel e reattori verticali continui, discontinui e biofase (De Bertoldi et al., 1987 e 1988).

RACCOLTA E UTILIZZAZIONE ENERGETICA

I residui di potatura, opportunamente lavorati, possono essere utilizzati sia per le grandi centrali sia per le caldaie casalinghe a biomassa. Sebbene attualmente il mercato della biomassa sia assolutamente di nicchia, il Libro Bianco sulle energie rinnovabili dell'Unione europea, il protocollo di Kyoto e l'alto prezzo del petrolio rendono questa strada assolutamente percorribile (Progetto PRO-AERE, 2005).

Processi di trasformazione delle biomasse a fini energetici

La biomassa può essere convertita in una forma di energia utile, sfruttando differenti tipi di processi.

I fattori che influenzano la scelta del processo di conversione sono:

- il tipo e la qualità della biomassa (parametri di qualità)
- la forma di energia che si desidera ottenere
- le condizioni economiche

La biomassa può essere convertita in tre principali prodotti:

- ✓ Energia elettrica e calore
- ✓ Trasporto di combustibile
- ✓ Riserva chimica

La conversione della biomassa ad energia è intrapresa usando due principali processi tecnologici quali quello termochimico e quello biochimico.

La terza tecnologia utilizzata per la conversione della biomassa è l'estrazione meccanica.

La conversione termochimica si suddivide in quattro possibili processi: combustione diretta, carbonizzazione, gassificazione e pirolisi. Ad esclusione della combustione diretta, tutti gli altri processi mirano all'aumento della resa termica, allo sfruttamento di tutto il materiale disponibile, a migliorare la praticità di trasporto, impiego e stoccaggio, oppure a ridurre i residui dopo l'utilizzazione.

Della conversione biochimica, invece, fanno parte la digestione aerobica, anaerobica e la fermentazione alcolica (McKendry, 2002).

Processi termochimici

I processi di trasformazione termochimica invece, sfruttano l'azione del calore per liberare l'energia contenuta nella materia.

In genere i materiali più idonei per questo tipo di conversione sono caratterizzati da un rapporto (C/N) superiore a 30 e un contenuto di umidità inferiore al 30%.

Combustione diretta

Consiste nell'ossidazione completa del combustibile ad acqua e anidride carbonica utilizzando apparecchiature quali forni, stufe, caldaie. La combustione della biomassa produce gas ad elevate temperature, intorno a 800-1000°C (McKendry, 2002). Viene utilizzata in una larga serie di produzioni per convertire l'energia chimica immagazzinata nella biomassa in calore, potere meccanico o elettricità.

Carbonizzazione

E' un processo di pretrattamento del materiale vegetale che consiste nell'alterazione termochimica della biomasse mirato a conferirle migliori caratteristiche, in particolare un contenuto energetico superiore a quello di partenza.

Attraverso la somministrazione di calore in presenza di poco ossigeno viene eliminata l'acqua, le sostanze volatili non combuste e trasformata la struttura chimica dei materiali ligno-cellulosici.

Questa trasformazione avviene a temperature variabili tra 500 e gli 800 °C (Toscano, 2003).

Gassificazione

Il processo consiste nella trasformazione in combustibile gassoso di un combustibile solido o liquido, nel caso specifico della biomassa, attraverso una decomposizione termica (ossidazione parziale) ad alta temperatura (900÷1.000°C). Il gas prodotto è una miscela di H₂, CO, CH₄, CO₂, H₂O (vapore acqueo) e N₂, accompagnati da ceneri in sospensione e tracce di idrocarburi (C₂H₆). La proporzione tra i vari componenti del gas varia notevolmente in funzione dei diversi tipi di gassificatore, dei combustibili e del loro contenuto di umidità.

Dato il basso valore calorifico (CV) del gas prodotto e il contenuto delle impurità al suo interno (polveri, metalli pesanti), questo può essere direttamente bruciato oppure usato come combustibile per motori e turbine (McKendry, 2002). Infatti, per rendere economicamente più valido questo processo, si trasforma il gas in alcool metilico (CH₃OH), che può essere impiegato per l'azionamento di motori. Il metanolo, caratterizzato da un potere calorifico inferiore dell'ordine di

21.000 kJ/kg, può essere successivamente raffinato per ottenere benzina sintetica, con potere calorifico analogo a quello delle benzine tradizionali.

Pirolisi

E' un processo di degradazione termochimica di materiali organici, attraverso l'azione del calore, a temperature elevate (tra 400 e 800°C), in completa assenza degli agenti ossidanti (aria o ossigeno) o con una ridottissima quantità di ossigeno (in questo caso il processo può essere descritto come una parziale gassificazione). Dalla pirolisi si ottengono prodotti gassosi, liquidi e solidi, in proporzioni che dipendono dai metodi utilizzati (pirolisi veloce, lenta, o convenzionale) e dai parametri di reazione. La pirolisi può essere usata per produrre principalmente bio-oli abilitando la conversione di biomassa a bio-greggio con un'efficienza intorno all'80% (Faaij, 2006).

Processi biochimici

Nel primo caso viene sfruttata l'azione dei microrganismi che si sviluppano nella biomassa quando questa presenta particolari condizioni di umidità, in genere superiore al 25-30% e di composizione chimica con rapporti di carbonio-azoto (C/N) inferiori a 30 (Toscano, 2003).

Digestione aerobica

Processo che avviene in presenza di ossigeno che consiste nella metabolizzazione della sostanza organica, ad opera di batteri aerobici.

Questi micro-organismi convertono sostanze complesse in altre più semplici, liberando CO₂ e H₂O e producendo un elevato riscaldamento del substrato, proporzionale alla loro attività metabolica.

Il calore prodotto può essere così trasferito all'esterno, mediante scambiatori a fluido.

In Europa viene utilizzato il processo di digestione aerobica termofila autoriscaldata (Autoheated Thermophilic Aerobic Digestion) per il trattamento delle acque di scarico (www.sicoter.it).

Digestione anaerobica

Consiste nella metabolizzazione di sostanza organica complessa contenuta nei vegetali e nei sottoprodotti di origine animale (lipidi, glucidi), in assenza di ossigeno, operata da particolari microrganismi con produzione di un miscuglio gassoso costituito dal 70% da metano e per la restante parte soprattutto da anidride carbonica (ANPA, 2001).

Questo processo avviene in appositi impianti chiusi dove il biogas prodotto viene raccolto, essiccato, compresso ed immagazzinato per utilizzarlo come combustibile per caldaie a gas nella produzione del calore o per motori a combustione interna per produrre energia elettrica.

Fermentazione alcolica

Trasformazione di tipo micro-aerofila condotta da lieviti, che a partire da glucidi porta alla formazione di diversi prodotti il principale dei quali è rappresentato dall'etanolo.

La combinazione di questo prodotto con un idrocarburo come l'isobutene, porta alla formazione di un suo derivato, l'ETBE (EtilTertioButilEtere), che mostra il miglior compromesso tra prezzo, disponibilità e prestazioni per il suo utilizzo nei motori a combustione interna (Faaij, 2006).

Estrazione meccanica

Alcune essenze vegetali, come le oleaginose, presentano la caratteristica di avere semi ricchi di oli che possono essere estratti ed utilizzati come combustibili per alimentare gruppi elettrogeni attraverso la combustione diretta. Inoltre, offrono interessanti opportunità per la riutilizzazione dei sottoprodotti del processo dell'estrazione dell'olio dai semi; infatti i residui ricchi di materie proteiche sono impiegati per gli alimenti della zootecnia o nell'industria farmaceutica (ad esempio la glicerina) ed infine per la produzione di pellet (McKendry, 2002).

ANALISI E POTENZIALITA' D'USO DEI RESIDUI DI POTATURA

IPOTESI DI FILIERA AGRICOLA PER LA CATTURA DELL'ANIDRIDE CARBONICA

In questa sezione vogliamo ipotizzare una filiera per il recupero degli scarti di potatura, per scoprire quale, fra le quattro tecniche di gestione dei residui di potatura prese in esame, sia la migliore ai fini di una mitigazione dell'effetto serra.

Per far sì che i dati siano paragonabili, prendiamo in esame un'azienda che sia capace di riutilizzare gli scarti di potatura al suo interno e soprattutto che abbia disponibilità sufficiente di residui di potatura tali da poter completarne il ciclo. Supponiamo inoltre, che essa sia provvista di tutti i macchinari che servono per le tecniche di gestione dei residui di potatura:

- ✓ Raccolta e bruciatura
- ✓ Trinciatura in campo e interrimento
- ✓ Compost di qualità
- ✓ Processi termochimici
 - Combustione diretta
 - Carbonizzazione
 - Gassificazione
 - Pirolisi

Prenderemo in considerazione valori di biomassa riferiti alla potatura di specie legnose in arboricoltura, olivicoltura e viticoltura. Gli apporti in sostanza secca sono riportati in tonnellate per ettaro di superficie per anno.

I dati ottenuti sono stati forniti dal Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose dell'università degli Studi di Pisa e dai censimenti ISTAT 2000 e 2007 sull'agricoltura.

Le specie arboree analizzate sono state: Actinidia, Albicocco, Melo, Olivo, Pero, Pesco, Susino e Vite.

Per tutte le specie arboree prese in esame, non è prevista una potatura meccanica eccetto che per la vite. Quindi, per meglio confrontare le singole specie arboree all'interno delle quattro tecniche di gestione dei residui di potatura, e visto che una potatura meccanica apporterebbe una maggior quantità di CO₂ nell'ambiente per l'elevato consumo di combustibile per autotrazione, quest'ultima non verrà presa in considerazione.

Nella *tabella 13* riportiamo i valori di residui di potatura per le varie specie arboree prese in esame con le loro relative percentuali di umidità e le rispettive quantità in sostanza secca.

Nell'analisi dei dati ottenuti per il calcolo della quantità di CO₂ sviluppata dalle varie tecniche di gestione dei residui di potatura, vengono indicate con il segno positivo quelle quantità di anidride carbonica considerate emesse nell'ambiente e con segno negativo quelle considerate assorbite dallo stesso.

SPECIE	RESIDUO	RESIDUI DI POTATURA (t/ha/anno)	UMIDITA' (%)	SOSTANZA SECCA (t/ha/anno)
Actinidia	Potatura	5,50	40	3,30
Albicocco	Potatura	2,22	40	1,33
Melo	Potatura	0,77	40	0,46
Olivo	Potatura	4,35	45	2,39
Pero	Potatura	0,97	40	0,58
Pesco	Potatura	5,02	40	3,01
Susino	Potatura	1,31	40	0,79
Vite da tavola	Sarmenti	5,25	50	2,62
Vite da vino	Sarmenti	2,00	50	1,00

Tabella 13 – *Residui di potatura delle specie arboree analizzate e loro apporto in sostanza secca.*

In realtà non è pensabile che aziende di dimensioni medio-piccole si dotino dei macchinari necessari per la raccolta: un'utilizzazione in forma consociata potrebbe rispondere in modo più adeguato alle esigenze logistiche di sfruttamento dei residui di potatura.

Ancora meglio potrebbe rispondere un uso integrato in una filiera organizzata, in cui i beneficiari dell'erogazione del calore e/o energia prodotta grazie alle biomasse vegetali siano gli stessi agricoltori che hanno conferito i materiali. In questo modo si vanno ad evitare sprechi di risorse e di energie di cui l'ambiente può beneficiare (Boggia e Porceddu, 2006).

BRUCIATURA A BORDO CAMPO

In questa tipologia di filiera è prevista una potatura manuale ed una successiva raccolta e combustione a bordo campo dei residui. Dai valori ricavati dalle tabelle dei consumi di gasolio per l'impiego agevolato in agricoltura del decreto MIPAF del 26.02.2002 (www.enama.it/it/consumi_carburanti.php) si ricava un consumo di gasolio per la raccolta pari a 26 L/ha, valore che risulta essere in accordo con quelli medi delle singole regioni italiane e quelli ricavati da altre riviste scientifiche quali *Macchine Agricole* (maggio, 2006).

Dalla *tabella 14* si ricavano le tonnellate di sostanza secca per residuo di potatura delle diverse specie arboree e le tonnellate di anidride carbonica fissati in essi durante il loro ciclo vitale annuale e successivamente riemesse nell'atmosfera in seguito alla combustione. Il calcolo della CO₂ emessa è stato fatto utilizzando la seguente formula:

$$1 \text{ g di sostanza secca} = 0,5 \text{ g di C} = 1,83 \text{ g di CO}_2 \text{ atmosferica fissata}$$

(Sofo et al, 2004)

SPECIE	RESIDUI DI POTATURA (t/ha/anno)	UMIDITA' (%)	SOSTANZA SECCA (t/ha/anno)	CO ₂ EMESSA (t/ha/anno)
Actinidia	5,50	40	3,30	+ 6,04
Albicocco	2,22	40	1,33	+ 2,43
Melo	0,77	40	0,46	+ 0,84
Olivo	4,35	45	2,39	+ 4,37
Pero	0,97	40	0,58	+ 1,06
Pesco	5,02	40	3,01	+ 5,51
Susino	1,31	40	0,79	+ 1,44
Vite da tavola	5,25	50	2,62	+ 4,79
Vite da vino	2,00	50	1,00	+ 1,83

Tabella 14 – CO₂ emessa dalla bruciatura dei residui di potatura per le varie specie arboree.

Alla CO₂ liberata per combustione dei residui deve essere aggiunta quella sviluppata dai motori a combustione utilizzati in campo per la raccolta dei residui. Si stima che per 1 ha di arboreto siano necessari circa 26 L di gasolio per la raccolta dei residui. Ma quanta anidride carbonica si ottiene da 26 L di gasolio?

Sapendo che:

$$1 \text{ L di gasolio} = 2,7 \text{ kg di CO}_2$$

(Progetto PRO-AERE, 2005 e fonte UNEP, www.unep.org)

Quindi, 26 L di gasolio corrispondono a 70,2 kg di CO₂ liberata.

Complessivamente quindi il bilancio totale della CO₂ emessa con questa metodologia di gestione dei residui di potatura è quello riportato nella *tabella 15*.

SPECIE	CO₂ EMESSA (t/ha/anno)	CO₂ DA GASOLIO (t/ha/anno)	BILANCIO CO₂ TOTALE (t/ha/anno)
Actinidia	+ 6,04	+ 0,07	+ 6,11
Albicocco	+ 2,43	+ 0,07	+ 2,50
Melo	+ 0,84	+ 0,07	+ 0,91
Olivo	+ 4,37	+ 0,07	+ 4,44
Pero	+ 1,06	+ 0,07	+ 1,13
Pesco	+ 5,51	+ 0,07	+ 5,58
Susino	+ 1,44	+ 0,07	+ 1,51
Vite da tavola	+ 4,79	+ 0,07	+ 4,86
Vite da vino	+ 1,83	+ 0,07	+ 1,90

Tabella 15 –CO₂ totale sviluppata dalla tecnica di raccolta e bruciatura dei residui di potatura.

Come possiamo vedere dalla *tabella 15*, la quantità di CO₂ totale per le varie specie arboree è stata ottenuta sommando la quantità di anidride carbonica sviluppata dal gasolio utilizzato per la raccolta del residuo e la quantità di CO₂ sviluppata dalla bruciatura dei residui di potatura. Il segno positivo indica che la quantità di anidride carbonica è stata emessa e quindi liberata in atmosfera.

TRINCIATURA

In questa tecnica, rispetto alla precedente, non viene effettuata la raccolta dei residui di potatura bensì la trinciatura sul posto. L'analisi di questa tecnica prevederebbe anche la presenza o meno dell'inerbimento. Esso viene preso in considerazione soltanto per distinguere una situazione di lavorazione del terreno non inerbito, che prevede l'interramento del materiale trinciato durante la lavorazione, ed un'altra nella quale la presenza dell'inerbimento fa sì che si effettui una trinciatura dei residui di potatura come tecnica pacciamante lungo la fila.

Per effettuare l'incorporazione dei residui nel terreno, si utilizzano trinciasarmenti seguiti da organi erpicatori.

Il gasolio consumato per la trinciatura è pari a 26 L/ha.

Per quanto riguarda questa tecnica di gestione dei residui di potatura, è necessario premettere che verranno effettuate alcune approssimazioni:

- quella relativa alla mineralizzazione del terreno che si ha dopo l'interramento dei residui di potatura: questa non viene presa in considerazione in quanto la percentuale di mineralizzazione della sostanza organica da prendere in considerazione dipende da numerosi fattori che portano ad una maggiore o minore stabilità della stessa nel terreno.
- anche nel caso della trinciatura con inerbimento, e quindi senza interrimento di residui, si effettuano calcoli con coefficiente isoumico più basso rispetto al normale coefficiente di umificazione dei residui (0,35). Questo è dovuto al fatto che la mineralizzazione dei residui trinciati e lasciati sul terreno come pacciamatura è maggiore rispetto all'interramento degli stessi e quindi si verifica una maggiore esposizione/ossidazione del materiale. Per questo motivo prenderemo come valido un coefficiente di umificazione del materiale pacciamante pari a 0,15.

Trinciatura e interrimento senza inerbimento

CALCOLO CO₂ DA UMIFICAZIONE DEI RESIDUI DI POTATURA INTERRATI

Per calcolare la quantità di humus prodotto dal materiale di potatura si moltiplica l'apporto della sostanza secca per il coefficiente isoumico del tipo di materiale da interrare, dopodiché per conoscere la quantità di anidride carbonica fissata come carbonio nell'umificazione dei residui di potatura, sappiamo che il carbonio è contenuto nell'humus per il 50% del suo peso. Con la formula seguente si arriva a calcolare la CO₂ corrispondente a tale quantità di carbonio:

$$0,5 \text{ g di C} = 1,83 \text{ g di CO}_2 \text{ atmosferica fissata}$$

(Sofo et al, 2004)

Tutti i dati relativi a questi calcoli sono riportati in (tabella 16).

SPECIE	SOSTANZA SECCA (t/ha/anno)	COEFFICIENTE ISOUMICO	HUMUS (t/ha/anno)	C CONTENUTO IN HUMUS (t/ha/anno)	CO₂ FISSATA IN HUMUS (t/ha/anno)
Actinidia	3,30	0,35	1,15	0,58	- 2,12
Albicocco	1,33	0,35	0,46	0,23	- 0,85
Melo	0,46	0,35	0,16	0,08	- 0,29
Olivo	2,39	0,35	0,84	0,42	- 1,54
Pero	0,58	0,35	0,20	0,10	- 0,37
Pesco	3,01	0,35	1,05	0,53	- 1,94
Susino	0,79	0,35	0,28	0,14	- 0,51
Vite da tavola	2,62	0,35	0,92	0,46	- 1,68
Vite da vino	1,00	0,35	0,35	0,17	- 0,62

Tabella 16 – CO₂ fissata per interrimento dei residui di potatura delle varie specie arboree.

CALCOLO CO₂ SVILUPPATA DAI MACCHINARI

Quanta anidride carbonica si ottiene da 26 L di gasolio?

Sappiamo che:

$$1 \text{ L di gasolio} = 2,7 \text{ kg di CO}_2$$

(Progetto PRO-AERE, 2005 e fonte UNEP, www.unep.org)

Quindi, 26 L di gasolio corrispondono a 70,2 kg di CO₂ liberata.

CALCOLO DEL BILANCIO DI ANIDRIDE CARBONICA TOTALE

SPECIE	SOSTANZA SECCA (t/ha/anno)	CO₂ DA INTERRAMENTO RESIDUI (t/ha/anno)	CO₂ DA GASOLIO (t/ha/anno)	BILANCIO TOTALE CO₂ (t/ha/anno)
Actinidia	3,30	- 2,12	+ 0,07	- 2,05
Albicocco	1,33	- 0,85	+ 0,07	- 0,78
Melo	0,46	- 0,29	+ 0,07	- 0,22
Olivo	2,39	- 1,54	+ 0,07	- 1,47
Pero	0,58	- 0,37	+ 0,07	- 0,30
Pesco	3,01	- 1,94	+ 0,07	- 1,87
Susino	0,79	- 0,51	+ 0,07	- 0,44
Vite da tavola	2,62	- 1,68	+ 0,07	- 1,61
Vite da vino	1,00	- 0,62	+ 0,07	- 0,55

Tabella 17 – Bilancio totale di CO₂ per la trinciatura e interrimento dei residui di potatura delle varie specie arboree.

Trinciatura con inerbimento senza interrimento

CALCOLO CO₂ SVILUPPATA DAI MACCHINARI

Quanta anidride carbonica si ottiene da 26 L di gasolio?

Sappiamo che:

$$1 \text{ L di gasolio} = 2,7 \text{ kg di CO}_2$$

(Progetto PRO-AERE, 2005 e fonte UNEP, www.unep.org)

Quindi, 26 L di gasolio corrispondono a 70,2 kg di CO₂ liberata.

CALCOLO UMIFICAZIONE DEI RESIDUI LASCIATI COME PACCIAMATURA

$$0,5 \text{ g di C} = 1,83 \text{ g di CO}_2 \text{ atmosferica fissata}$$

(Sofo et al, 2004)

SPECIE	SOSTANZA SECCA (t/ha/anno)	COEFFICIENTE ISOUMICO	HUMUS (t/ha/anno)	C CONTENUTO IN HUMUS (t/ha/anno)	CO₂ FISSATA IN HUMUS (t/ha/anno)
Actinidia	3,30	0,15	0,49	0,25	- 0,91
Albicocco	1,33	0,15	0,20	0,10	- 0,36
Melo	0,46	0,15	0,07	0,03	- 0,13
Olivo	2,39	0,15	0,36	0,18	- 0,66
Pero	0,58	0,15	0,09	0,04	- 0,15
Pesco	3,01	0,15	0,45	0,22	- 0,80
Susino	0,79	0,15	0,12	0,06	- 0,22
Vite da tavola	2,62	0,15	0,39	0,19	- 0,69
Vite da vino	1,00	0,15	0,15	0,07	- 0,26

Tabella 18 – CO₂ fissata per la pacciamatura con residui di potatura delle varie specie arboree.

CALCOLO DEL BILANCIO DI ANIDRIDE CARBONICA TOTALE

SPECIE	SOSTANZA SECCA (t/ha/anno)	CO₂ FISSATA PER PACCIAMATURA CON RESIDUI DI POTATURA (t/ha/anno)	CO₂ DA GASOLIO (t/ha/anno)	BILANCIO TOTALE CO₂ (t/ha/anno)
Actinidia	3,30	- 0,91	+ 0,07	- 0,84
Albicocco	1,33	- 0,36	+ 0,07	- 0,29
Melo	0,46	- 0,13	+ 0,07	- 0,06
Olivo	2,39	- 0,66	+ 0,07	- 0,59
Pero	0,58	- 0,15	+ 0,07	- 0,08
Pesco	3,01	- 0,80	+ 0,07	- 0,73
Susino	0,79	- 0,22	+ 0,07	- 0,15
Vite da tavola	2,62	- 0,69	+ 0,07	- 0,62
Vite da vino	1,00	- 0,26	+ 0,07	- 0,19

Tabella 19 - Bilancio totale di CO₂ per la trinciatura e pacciamatura dei residui di potatura delle varie specie arboree.

COMPOST DI QUALITA'

Anche per questa tecnica di gestione dei residui di potatura la CO₂ sviluppata dai macchinari utilizzati è quella relativa alla raccolta e trasporto a bordo campo. Essa corrisponde ad un consumo di gasolio pari a 26 L/ha.

Per analizzare questa tecnica supponiamo che il compost da noi prodotto sia formato interamente da residui di potatura e non come di consueto da materiale eterogeneo.

Assumendo che da 1 kg di materiale posto a compostaggio si ricavano circa 450 g di compost e ipotizzando di avere un compost del tipo AMV (ammendante compostato verde) ottenuto da soli residui vegetali, che contiene una quantità di carbonio pari al 22% (www.compost.it o *tabella 12*), andiamo a calcolare la quantità di CO₂ che viene risparmiata utilizzando tale tecnica anziché quella della raccolta e bruciatura a bordo campo.

CALCOLO CO₂ SVILUPPATA DAI MACCHINARI

Quanta anidride carbonica si ottiene da 26 L di gasolio?

Sappiamo che:

$$1 \text{ L di gasolio} = 2,7 \text{ kg di CO}_2$$

(Progetto PRO-AERE, 2005 e fonte UNEP, www.unep.org)

Quindi, 26 L di gasolio corrispondono a 70,2 kg di CO₂ liberata.

CALCOLO CO₂ RISPARMIATA PER FISSAZIONE TRAMITE COMPOSTAGGIO

Da 1 tonnellata di residui di potatura si ottengono 0,45 t di compost, sapendo questo, vengono calcolate in *tabella 20* le tonnellate di compost che si ottengono dai residui delle varie specie arboree. Come detto precedentemente il contenuto di carbonio in questo tipo di compost è pari al 22%. Quindi nella 5° colonna della stessa tabella vengono riportati i quantitativi di carbonio fissato nel compost ottenuto dalle varie specie arboree. Infine viene calcolata la quantità di CO₂ fissata nel compost e quindi risparmiata all'ambiente, secondo i seguenti calcoli:

$$0,5 \text{ g di C} = 1,83 \text{ g di CO}_2 \text{ atmosferica fissata}$$

(Sofa et al, 2004)

SPECIE	RESIDUI DI POTATURA (t/ha/anno)	COMPOST (t/ha/anno)	UMIDITA' (%)	SOSTANZA SECCA COMPOST (t/ha/anno)
Actinidia	5,5	2,47	48	1,28
Albicocco	2,22	0,99	48	0,51
Melo	0,77	0,35	48	0,31
Olivo	4,35	1,96	48	1,02
Pero	0,97	0,44	48	0,23
Pesco	5,02	2,26	48	1,17
Susino	1,31	0,59	48	0,31
Vite da tavola	5,25	2,36	48	1,23
Vite da vino	2,0	0,90	48	0,47

Tabella 20 – calcolo compost e sua sostanza secca.

SPECIE	RESIDUI DI POTATURA (t/ha/anno)	SOSTANZA SECCA COMPOST (t/ha/anno)	C IN ACV (%)	C FISSATO NEL COMPOST (t/ha/anno)	CO₂ RISPARMIATA (t/ha/anno)
Actinidia	5,5	1,28	22	0,28	- 1,02
Albicocco	2,22	0,51	22	0,11	- 0,40
Melo	0,77	0,31	22	0,07	- 0,26
Olivo	4,35	1,02	22	0,22	- 0,80
Pero	0,97	0,23	22	0,05	- 0,18
Pesco	5,02	1,17	22	0,26	- 0,95
Susino	1,31	0,31	22	0,07	- 0,26
Vite da tavola	5,25	1,23	22	0,27	- 0,99
Vite da vino	2,0	0,47	22	0,10	- 0,37

Tabella 21 – CO₂ fissata per compostaggio dei residui agricoli delle varie specie arboree.

CALCOLO DEL BILANCIO DI ANIDRIDE CARBONICA TOTALE

La quantità di CO₂ totale per l'intera tecnica di gestione dei residui, viene ricavata sottraendo la quantità di anidride carbonica utilizzata dai macchinari per il raccolto alla quantità di CO₂ fissata per compostaggio.

SPECIE	RESIDUI DI POTATURA (t/ha/anno)	SOSTANZA SECCA COMPOST (t/ha/anno)	CO₂ RISPARMIATA DA COMPOST (t/ha/anno)	CO₂ DA GASOLIO (t/ha/anno)	BILANCIO TOTALE CO₂ (t/ha/anno)
Actinidia	5,5	1,28	- 1,02	+ 0,07	- 0,95
Albicocco	2,22	0,51	- 0,40	+ 0,07	- 0,33
Melo	0,77	0,31	- 0,26	+ 0,07	- 0,19
Olivo	4,35	1,02	- 0,80	+ 0,07	- 0,73
Pero	0,97	0,23	- 0,18	+ 0,07	- 0,11
Pesco	5,02	1,17	- 0,95	+ 0,07	- 0,88
Susino	1,31	0,31	- 0,26	+ 0,07	- 0,19
Vite da tavola	5,25	1,23	- 0,99	+ 0,07	- 0,92
Vite da vino	2,0	0,47	- 0,37	+ 0,07	- 0,30

Tabella 22 – *bilancio totale CO₂ per compostaggio dei residui di potatura delle varie specie arboree.*

TRASFORMAZIONE A FINI ENERGETICI

In questa tecnica viene considerato un consumo di gasolio pari a 26 L/ha per la raccolta e trasporto a bordo campo dei residui di potatura. Un volta raccolti i residui vengono utilizzati nei processi termochimici di combustione diretta, carbonizzazione, gassificazione e pirolisi. L'energia sviluppata dalla combustione dei residui con tali tecniche di trasformazione viene considerata come tonnellate di petrolio equivalente (tep) convertite successivamente in CO₂ equivalente che corrisponde alla quantità di anidride carbonica che si emetterebbe se utilizzassimo il combustibile fossile al posto dei residui di potatura.

CALCOLO CO₂ SVILUPPATA DAI MACCHINARI

Quanta anidride carbonica si ottiene da 26 L di gasolio?

Sappiamo che:

$$1 \text{ L di gasolio} = 2,7 \text{ kg di CO}_2$$

(Progetto PRO-AERE, 2005 e fonte UNEP, www.unep.org)

Quindi, 26 L di gasolio corrispondono a 70,2 kg di CO₂ liberata.

CALCOLO CO₂ RISPARMIATA ATTRAVERSO PROCESSI TERMOCHIMICI

L'energia ricavabile dalla coltivazione si ottiene moltiplicando i valori di potere calorifico delle singole specie arboree, espressi in MJ/Kg per i loro rispettivi apporti in sostanza secca da convertire in kg/ha.

Essa viene espressa in MJ/ha. I calcoli effettuati si rivolgono tutti ad un ettaro di terreno, quindi tale energia viene espressa in MJ.

Tale energia corrisponde ad un certo valore di tep (tonnellate equivalenti di petrolio), secondo la conversione:

$$1 \text{ tonnellata equivalente di petrolio} = 41,868 \text{ GJ}$$

Queste ultime vengono convertite in CO₂ equivalente secondo la seguente equazione:

$$1 \text{ tonnellata equivalente di petrolio} = 3 \text{ tonnellate di CO}_2 \text{ equivalente}$$

SPECIE	RESIDUI DI POTATURA (t/ha/anno)	POTERE CALORIFICO (MJ/Kg)	ENERGIA RICAVABILE DALLA COLTIVAZIONE (MJ/ha)	TONNELLATE EQUIVALENTI DI PETROLIO (tep)	CO ₂ EQUIVALENTE (t/ha/anno)
Actinidia	5,5	18,61	102355	2,44	- 7,32
Albicocco	2,22	18,69	41492	0,99	- 2,97
Melo	0,77	18,51	14253	0,34	- 1,02
Olivo	4,35	17,80	77430	1,85	- 5,55
Pero	0,97	18,26	17712	0,42	- 1,26
Pesco	5,02	18,54	93071	2,22	- 6,66
Susino	1,31	18,72	24523	0,59	- 1,77
Vite da tavola	5,25	18,58	97545	2,33	- 6,99
Vite da vino	2,0	18,58	37160	0,89	- 2,67

Tabella 23 – calcolo CO₂ equivalente alle tonnellate di petrolio.

CALCOLO DEL BILANCIO DI ANIDRIDE CARBONICA TOTALE

Nella *tabella 24* si riportano i valori di CO₂ risparmiata alla fine del processo di raccolta e riutilizzo dei residui di potatura a fini energetici. Questa si ottiene sottraendo dalla quantità di CO₂ equivalente di *tabella 23*, la quantità di CO₂ sviluppata dal gasolio per la raccolta dei residui.

SPECIE	RESIDUI DI POTATURA (t/ha/anno)	CO ₂ DA GASOLIO (t/ha/anno)	CO ₂ EQUIVALENTE (t/ha/anno)	CO ₂ TOTALE (t/ha/anno)
Actinidia	5,5	+ 0,07	- 7,32	- 7,25
Albicocco	2,22	+ 0,07	- 2,97	- 2,90
Melo	0,77	+ 0,07	- 1,02	- 0,95
Olivo	4,35	+ 0,07	- 5,55	- 5,48
Pero	0,97	+ 0,07	- 1,26	- 1,19
Pesco	5,02	+ 0,07	- 6,66	- 6,59
Susino	1,31	+ 0,07	- 1,77	- 1,70
Vite da tavola	5,25	+ 0,07	- 6,99	- 6,92
Vite da vino	2,0	+ 0,07	- 2,67	- 2,60

Tabella 24 – bilancio totale di CO₂ per trasformazione a fini energetici dei residui di potatura delle specie arboree.

CONCLUSIONI

Riportiamo in *tabella 25* i bilanci di anidride carbonica degli impianti arborei da frutto in funzione delle modalità di gestione dei residui di potatura.

SPECIE	CO ₂ BRUCIATURA (t/ha/anno)	CO ₂ TRINCIATURA E INTERRAMENTO (t/ha/anno)	CO ₂ TRINCIATURA E PACCIAMATURA (t/ha/anno)	CO ₂ DA COMPOST (t/ha/anno)	CO ₂ TRASFORMAZIONE ENERGETICA (t/ha/anno)
Actinidia	+ 6,11	- 2,05	- 0,84	- 0,95	- 7,25
Albicocco	+ 2,50	- 0,78	- 0,29	- 0,33	- 2,90
Melo	+ 0,91	- 0,22	- 0,06	- 0,19	- 0,95
Olivo	+ 4,44	- 1,47	- 0,59	- 0,73	- 5,48
Pero	+ 1,13	- 0,30	- 0,08	- 0,11	- 1,19
Pesco	+ 5,58	- 1,87	- 0,73	- 0,88	- 6,59
Susino	+ 1,51	- 0,44	- 0,15	- 0,19	- 1,70
Vite da tavola	+ 4,86	- 1,61	- 0,62	- 0,92	- 6,92
Vite da vino	+ 1,90	- 0,55	- 0,19	- 0,30	- 2,60

Tabella 25 – *riepilogo dei bilanci di CO₂ degli impianti arborei da frutto in funzione delle modalità di gestione dei residui di potatura.*

Come possiamo notare da tale tabella ad esclusione della tecnica della bruciatura a bordo campo, che presenta valori anidride carbonica positivi e quindi emessi in atmosfera, le altre tecniche di gestione dei residui di potatura presentano tutte valori negativi. Questi valori infatti dimostrano che le altre 3 tecniche prese in esame sono capaci di risparmiare anidride carbonica e quindi di non liberarla nell'ambiente.

Per meglio capirne il significato si riporta nel *grafico 7* il bilancio di anidride carbonica delle più significative specie arboree da frutto in funzione della modalità di gestione dei residui di potatura.

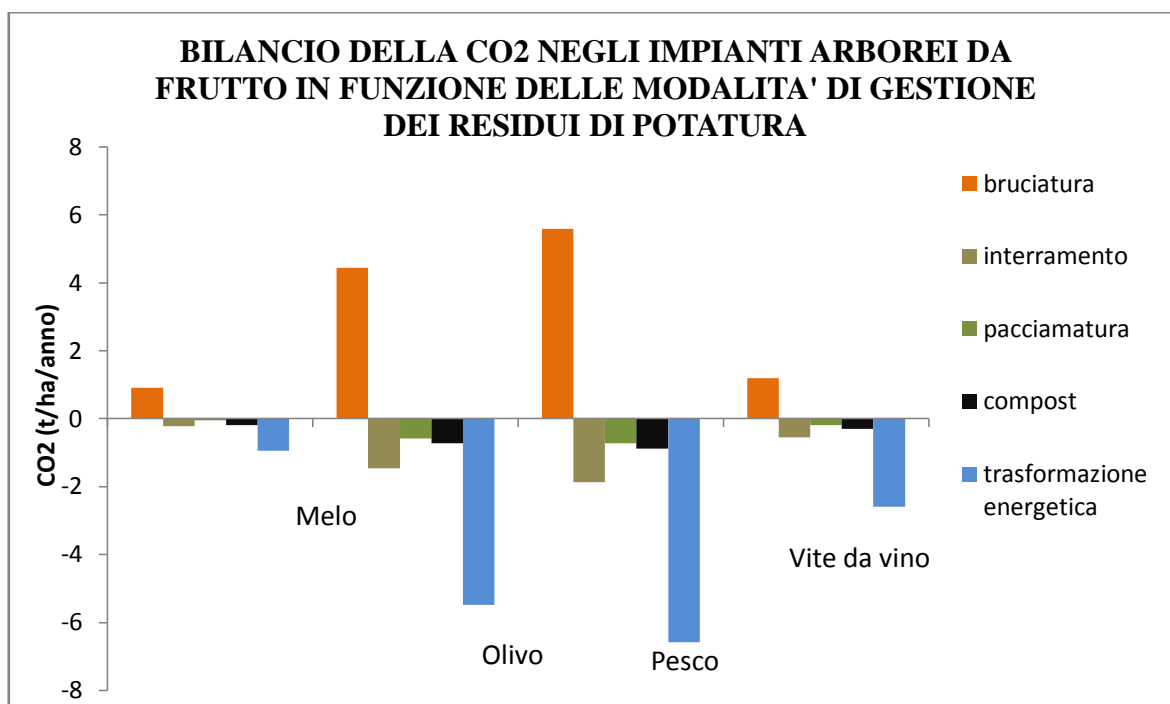


Grafico 7 – bilancio della CO₂ negli impianti arborei da frutto in funzione delle modalità di gestione dei residui di potatura.

Si conclude quindi, come messo in evidenza dal grafico soprastante, che la peggior tecnica ai fini di una mitigazione dell'effetto serra e che quindi immette in atmosfera maggiori quantità di anidride carbonica, è quella della bruciatura a bordo campo. Mentre la migliore tecnica che permette di risparmiare emissioni di anidride carbonica nell'ambiente, risulta essere quella della trasformazione energetica, infatti questa tecnica attraverso vari processi termochimici, ci permette di bruciare materiale di potatura e risparmiare energia, che può essere riutilizzata. In particolare la quantità di energia ricavata dalla combustione dei residui di potatura, corrisponderebbe ad una equivalente quantità di petrolio e quindi ad una corrispondente quantità di anidride carbonica che sarebbe liberata in atmosfera.

Per quando riguarda la tecnica di trinciatura e pacciamatura con residui di potatura e la tecnica di compostaggio, i valori ottenuti dimostrano che da entrambe le tecniche di gestione si ottengono risparmi di anidride carbonica simili.

Nella tecnica di trinciatura ed interrimento invece la quantità di anidride carbonica che viene fissata nel terreno tramite l'interrimento dei residui è maggiore rispetto alle affini tecniche di compostaggio e trinciatura con successiva pacciamatura.

Inoltre, dai risultati ottenuti precedentemente estendiamo l'analisi effettuata all'intero territorio nazionale. Riportiamo quindi in *tabella 26* i valori delle superfici delle specie arboree analizzate, ricavate per l'Italia dal censimento ISTAT 2007 ed i valori di anidride carbonica risparmiata dalla

migliore delle tecniche di gestione dei residui di potatura precedentemente discusse, qual è la trasformazione energetica.

Con l'applicazione all'Italia di tale tecnica di gestione dei residui di potatura per le specie arboree analizzate, sarebbe possibile risparmiare una quantità di anidride carbonica pari a circa 9,44 Mt all'anno (*tabella 26*).

SPECIE	SUPERFICIE IN PRODUZIONE (ha)	CO ₂ DA TRASFORMAZIONE ENERGETICA (t/ha/anno)	CO ₂ DA TRASFORMAZIONE ENERGETICA IN ITALIA (t/anno)
Actinidia	56.149	- 7,25	- 40.7080,25
Albicocco	16.308	- 2,90	- 47.293,20
Melo	56.149	- 0,95	- 53.341,55
Olivo	1.139.630	- 5,48	- 6.245.172,40
Pero	37.940	- 1,19	- 45.148,60
Pesco	56.711	- 6,59	- 373.725,49
Susino	12.596	- 1,70	- 21.413,20
Vite da tavola	68.250	- 6,92	- 472.290
Vite da vino	680.954	- 2,60	- 1.770.480,40
Totale CO₂ da trasformazione energetica per anno in Italia			- 9.435.945,09

tabella 26 – emissioni CO₂ da trasformazione energetica in Italia per le varie specie arboree.

Per meglio capire quanto questo risparmio di CO₂ contribuirebbe a livello nazionale, ai fini di una mitigazione dell'effetto serra, e quindi rientrare nei limiti di legge del Protocollo di Kyoto, riportiamo in *grafico 8* i calcoli effettuati in base a dati ricavati da fonte IPCC 2007. Nel 1990 furono registrate emissioni di anidride carbonica pari a 516,85 Mt. Sapendo che il Protocollo di Kyoto impone per gli anni che vanno dal 2008 al 2012 una diminuzione del 6,5% dell'emissioni di CO₂ rispetto alle emissioni del 1990, si ottiene un valore di 483,26 Mt di CO₂. Infine dal 1990 ad oggi è stato stimato un aumento delle emissioni di gas serra del 12%, dal quale si ricava l'emissione di anidride carbonica al 2008 pari a 578,87 Mt.

Da questi dati si ricava un valore Δ di emissioni di CO₂ ottenuto dalla differenza tra il valore di emissione di CO₂ presente nel 2008 e quello imposto dal Protocollo di Kyoto per gli anni 2008-2012. Questo valore chiamato delta, pari a 95,61 Mt, corrisponde ad una quantità di anidride carbonica che annualmente, per l'arco di tempo che va dal 2008 al 2012, non deve essere liberata in

atmosfera affinché si rientri nei limiti imposti dal Protocollo. Quindi le emissioni di anidride carbonica in Italia non dovranno superare i 483,26 Mt all'anno.

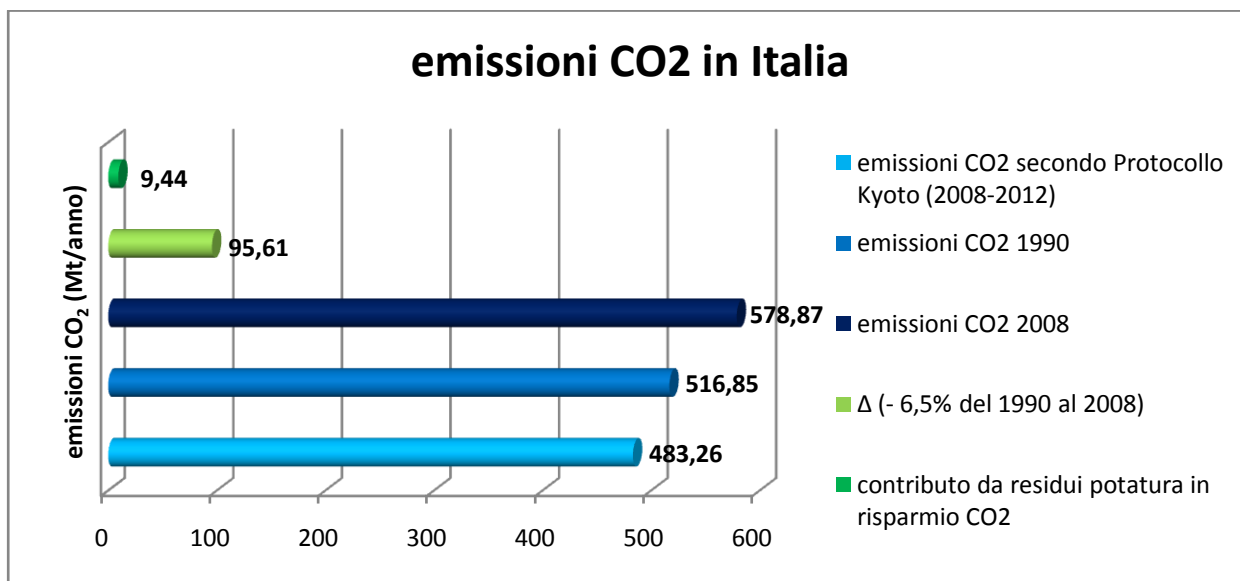


Grafico 8 – contributo al Protocollo di Kyoto di emissioni CO₂ in Italia.

Per concludere, l'utilizzo della trasformazione energetica applicata a tutto il territorio nazionale per le specie arboree prese in esame, contribuirebbe a ridurre le emissioni di anidride carbonica di circa il 10% del valore necessario per rientrare nei limiti imposti dal Protocollo di Kyoto.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., 1997 – Decreto Legislativo 5 febbraio 1997, n. 22. Decreto Ronchi.
- AA.VV., 1999 – Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee, 14/4/1999 – Esportazione di tecnologie connesse alle energie rinnovabili.
- AA.VV., 2004 – Decreto Legislativo 29 dicembre 2003, n. 387. *Gazzetta Ufficiale* n.25 del 31 gennaio 2004 - Supplemento Ordinario n. 17.
- AA.VV., 2006 – Decreto Legislativo 29 aprile 2006, n. 217. *Gazzetta Ufficiale* n.141 del 20 giugno 2006 – Supplemento Ordinario n.152.
- AA.VV., 2002 – Decreto MIPAF 26.02.2002: gestione dell'assegnazione dei carburanti agricoli agevolati impiegati in agricoltura.
- ANPA - Biomasse agricole e forestali, rifiuti e residui organici: fonti di energia rinnovabile. Stato dell'arte e prospettive di sviluppo a livello nazionale. Roma, febbraio 2001.
- AREA Science Park – Progetto Novimpresa, 2006 – Energia dalle biomasse: le tecnologie, i vantaggi per i processi produttivi, i valori economici e ambientali.
- Assirelli A., 2006 – Gestione del suolo del vigneto e del frutteto. *L'informatore Agrario*; 22: 43-54.
- Boggia A., Porceddu P. R., 2006 – La raccolta delle biomasse della potatura dell'olivo a fini energetici: un'analisi tecnica ed economica. *Estimo e Territorio*; n°12.
- Brady N.C., Weil R.R., 2004 – Elements of the Nature and Properties of Soils, *second ed. Pearson Prentice Hall, NJ*.
- Cadish G., Giller K., 2001 – Soil organic matter management: the roles of residue quality in C sequestration and N supply. *Sustainable Management of soil organic matter* (eds R. M. Rees, B. C. Ball, C. D. Campbell and C. A. Watson); 97-111.
- Canditelli M., 1998 – Stato dell'arte e prospettive del compostaggio. Dipartimento Ambiente. ENEA.
- Celano G., Dichio B., Montanaro G., Nuzzo V., Palese A. M., Xiloyannis C., 1999 – Distribution of dry matter and amount of mineral elements in irrigated and non-irrigated olive trees. *Acta Horticulturae* 474: 381-384.
- Celano G., Palese A. M., Xiloyannis C., 2002 – La gestione sostenibile del suolo nell'albicoccheto. *Informatore Agrario; frutticoltura* n. 3; 37-39.
- Centemero M., Favoino E., 2006 – La produzione, l'impiego e la valorizzazione del compost di qualità in Italia. Dagli atti del convegno sul Programma interregionale “Ricerca, sperimentazione, trasferimento e programmi a forte contenuto innovativo”. Napoli, Città della Scienza, 30 novembre 2006.

- Centinari M., Allegro G., 2004 – L'inerbimento del suolo nella coltivazione della vite. *Agricoltura*; 5: 67-68.
- Corradi C., 2007 – Legno di potatura: se ne parlerà molto presto. *Notiziario Fitopatologico*; n°1: 19-20.
- D'Antonio A., Ingenito M. R., 2006 – La sostanza organica nei suoli e la caratterizzazione pedologica dei siti di sperimentazione. Dagli atti del convegno sul Programma interregionale “Ricerca, sperimentazione, trasferimento e programmi a forte contenuto innovativo”. Napoli, Città della Scienza, 30 novembre 2006.
- De Bertoldi M., Civilini M., Comi G., Manzano M. 1990 – Compost from biomass: production, quality and use, 5th E.C. Conference on Biomass for Energy and Industry; pp.1072-1085, ed. *Elsevier Applied Science*.
- De Bertoldi M., Rutili A., Citerio B. and Civilini M., 1988 – Composting management: a new process control through O2 Feedback. *Waste Management & Research*; 6: 239-259.
- De Bertoldi M., Ferrante M.P., L'Hermite P., Zucconi F., 1987 – Compost: production, quality and use. Ed. *Elsevier Applied Science*.
- Di Blasi C., Tanzi V., Lanzetta M., 1997 – A study on the production of agricultural residues in Italy. *Biomass and Bioenergy*; 12, n°5: 321-331.
- ENEA, 2006 – Rapporto Energia e Ambiente.
- ENEA, 2007 – Rapporto Energia e Ambiente.
- Faaij A., 2006 – Modern biomass conversion technologies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*; 11: 343-375.
- Facciotto G., 2003 – Dalle colture da biomassa, reddito incerto senza aiuti. *L'Informatore Agrario*; 10: 91-95.
- Favoino E., Centemero M., 1993a – Il compostaggio dei residui della manutenzione del verde: qualità agronomica e possibilità di impiego. *Acer*; 5: 57.
- Favoino E., Hogg D., 2002 – “Composting and Greenhouse Gases: strategic views and a preliminary assessment”. Atti della Conferenza “Biological Treatment of Biodegradable Waste”, organizzata dalla Commissione Europea a Bruxelles, 8-10 aprile 2002.
- Favoino E., 2006 – Interventi del convegno “meno rifiuti in città, più qualità in campagna”: il compostaggio nelle strategie di sostenibilità ambientale. Roma, 10 febbraio 2006.
- Gagliano F., Cristina L., Novara A., Santoro A., 2008 – L'inerbimento del vigneto riduce il rischio erosivo. *Supplemento a L'informatore Agrario*; 10: 10-13.

- Grossman Y.L., Dejong T.M., 1994 – Peach: a simulation model of reproductive and vegetative growth in peach trees. *Tree Physiology*; 14: 329-345.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 1995 – Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emissions. *IPCC Workgroup II, Chapter 23, Washington DC*.
- IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- ISTAT, 2000 – Quinto censimento generale dell'agricoltura.
- ISTAT, 2007 – Dati su coltivazioni agrarie.
- ITABIA, 2003 – Contributo alle problematiche connesse con l'uso delle biomasse come fonte energetica rinnovabile non fossile.
- ITABIA, 2003 – Le biomasse per l'energia e l'ambiente. Rapporto 2003.
- Kimmins J. P., 1997 – Forest ecology: a foundation for sustainable management (2nd edition). Prentice-Hall, New Jersey.
- Lal, R., 1997 – Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂ enrichment. *Soil and Tillage Research* 43, 81-107.
- Loreti F. 2002 – Conduzione del suolo in la Toscana nella storia dell'olivo e dell'olio, pp. 155-174, *ARSIA 2002*.
- Loreti F., Marangoni B., Giovannini D., 1999 – La gestione del terreno in arboricoltura. Progetto Editoriale P.A.N.D.A. le lavorazioni del terreno. *L'Informatore Agrario*; vol 2, cap. VII: 90-111.
- MATTM, 1997 – I cambiamenti climatici ed il Protocollo di Kyoto.
- MATTM, 1997 – Protocollo di Kyoto.
- MATTM, 2002 – Piano Nazionale di riduzione dei gas serra.
- McKendry P., 2002 – Energy production from biomass: conversion technologies. *Bioresource Technology*; 83: 47-54.
- McKendry P., 2002 – Energy production from biomass: gasification technologies. *Bioresource Technology*; 83: 55-63.
- McKendry P., 2002 – Energy production from biomass: overview of biomass. *Bioresource Technology*; 83: 37-46.
- Palese A.M., Celano G., Petrillo G., Graziano D., Xiloyannis C., 2005 – Gestione del suolo negli oliveti e conservazione delle risorse naturali. *L'informatore Agrario*; 38: 41-44.

- Palese A.M., Sofo A., Xiloyannis C., 2003 – Il contributo della olivicoltura alla mitigazione dell'effetto serra: uno studio del carbonio dall'atmosfera alla pianta di olivo. Riassunti degli interventi orali e dei poster del "IV Congresso Meridiani Foreste". Università degli Studi della Basilicata. 7-10 ottobre, 2003. Rifreddo (PZ). Pagg. 44-45.
- Pessina D., Facchinetti D., 2006 – Fendt 209 P: alla ricerca della massima versatilità. *Macchine Agricole*; maggio 2006: 48-56.
- Progetto PRO-AERE, 2005 – Progetti per l'agricoltura per le energie rinnovabili in Europa.
- Progetto PROBIO - WOODLAND ENERGY – Raccolta di potature dell'olivo. San Giovanni Profiamma, Perugia - 5 maggio 2006.
- Progetto SICOTER "Sistema Informativo per l'ottimizzazione del COMfort Termico nei luoghi di lavoro e la creazione di una filiera per l'uso di Energia Rinnovabile nella provincia di Firenze", 2006.
- Schlesinger W.H., Lichter J., 2001 – Limited carbon storage in soil and litter of experimental forest plots under increased atmospheric CO₂. *Nature*; 441: 466-469.
- Sequi P., 1989 – Chimica del Suolo, *Patron editore*.
- Sequi P., 1999 – Il protocollo di Kyoto. *Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo*; 48 (1): 3-5.
- Six J., An Carpentier, Van Kessel C., Merckx R., Harris D., William R., Horwath & Andreas Lüscher, 2001 – Impact of elevated CO₂ on soil organic matter dynamics as related to changes in aggregate turnover and residue quality. *Plant and Soil*; 234: 27-36.
- Sofo A., Palese A.M., Xiloyannis C., 2006 - Can olive growing mitigate the greenhouse effect? A study of carbon cycle from atmosphere to olive tree products. Atti dell' "International symposium on the olive tree and the environment". NAGREF, Institute of Olive Tree and Subtropical Plants of Chania. 1-3 ottobre 2003, Chania, Creta, Grecia. Pagg. 152-157.
- Sofo A., Palese A. M., Xiloyannis C., Montanaro G., Massai R., 2004 – Il ruolo della frutticoltura nella mitigazione dell'effetto serra: riduzione dei danni causati dall'aumento di CO₂. *L'Informatore Agrario*; 44; 27-31.
- Sofo A., Xiloyannis C., Celano G., Nuzzo V., Dichio B., 2004 – L'aumento della CO₂ atmosferica: il ruolo della gestione del suolo e della chioma in piante di pesco allevate ad Y trasversale ed a vaso ritardato. Atti del "25° Convegno Peschicolo - Nuova Peschicoltura sostenibile: innovazione, tecniche di filiera, nuove varietà, qualità e mercato". 23-24 settembre 2004, Faenza (RV). Pagg. 97-99.

- Sofo A., Nuzzo V., Palese A. M., Xiloyannis C., Celano G., Zukowskyj P., Dichio B., 2005 – Net CO₂ storage in mediterranean olive and peach orchards. *Scientia Horticulturae*; 107, 17-24.
- Spinelli R., Magagnotti N., 2006 – I residui di potatura nel mercato delle biomasse. *Mondo Macchina*; volume n°3: 52-59.
- Spinelli R., 2004 – Le trinciatrici si fanno largo nella raccolta della biomassa. *L'informatore Agrario*; 30: 35-37.
- Spinelli R., 2003 – Macchine a cantieri riuniti per la raccolta dei residui di potatura. *L'informatore Agrario*; 14: 59-61.
- Strong A. E., 1989 – Greater global warming revealed by satellite-derived sea-surface-temperature trends. *Nature*; 338: 642-645.
- Swift M. J., 1985 – Tropical soil biology and fertility: planning for research. *Biology International Special Issue*; 9: 24.
- Tartara F., 2005 – Biomasse ed agricoltura: il ruolo degli agricoltori. Fiera di Milano, 5 ottobre 2005.
- Toscano G., 2003 – Possibilità di utilizzo delle fonti rinnovabili in ambienti rurali: energia da biomassa (prima parte). *Mondo Macchina*; 12(1): 20-23.
- Toscano G., 2003 – Possibilità di utilizzo delle fonti rinnovabili in ambienti rurali: energia da biomassa (seconda parte). *Mondo Macchina*; 12(2): 22-25.
- Toscano G., 2003 – Possibilità di utilizzo delle fonti rinnovabili in ambienti rurali: energia da biomassa (terza parte). *Mondo Macchina*; 12(3): 44-47.
- Toscano P., Casacchia T., Briccoli-Bati C., Scazziotto B., 2006 – Inerbimento temporaneo e permanente in olivicoltura. *L'informatore Agrario*; 21: 36-40.
- Tosi L., 2006 – Frutteti inerbiti al Nord, lavorati al Sud. *L'informatore Agrario*; 22: 52.
- Volk T., 2001 – Il corpo di Gaia.
- Xiloyannis C., Massai R., Piccotino D., Baroni G., 1992 – Conformazione e sviluppo negli anni degli apparati radicali del pesco innestato su due portinnesti. Giornate Scientifiche SOI-Ravello, 8-10 aprile 1992: 272-273.
- Xiloyannis C., Sofo A., Celano G., Nuzzo V., 2007 – Absorption of atmospheric CO₂ in peach trees and partitioning in the different plant organs. *Acta Horticulturae*; 732: 519-524.
- Zucconi F., 1999 – Energia dalle biomasse: progetti e utopie in un mondo in rapida trasformazione. Lettura plenaria – Inaugurazione Anno Accademico 1999/2000 – Università di Ancona.

SITI WEB (SITOGRAFIA)

Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo e forestale.

www.arsia.toscana.it

Associazione Nazionale Produttori Agricoli. www.anpanazionale.it

Confederazione Italiana Agricoltori. www.ciatoscana.it

Consorzio Italiano Compostatori. www.compost.it

Ente Nazionale per la Meccanizzazione Agricola. www.enama.it/it/consumi_carburanti.php

Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente. www.enea.it

Intergovernmental Panel on Climate Change. www.ipcc.ch

Istituto Superiore per la Protezione e al Ricerca Ambientale. www.apat.it

Italian Biomass Association. www.itabia.it

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. www.minambiente.it

Rinnovabili.it. Quotidiano d'informazione sulle fonti rinnovabili www.rinnovabili.it

Sicoter. Filiera delle biomasse. www.sicoter.it

United Nations Environment Programme. www.unep.org